

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Geografie

Geografie a kartografie



Anna Junková

HYDROLOGICKÉ SUCHO NA LUŽNICI V ROCE 2018

Hydrological drought on the Lužnice river in 2018

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.
Praha 2019

Zadání bakalářské práce

Název práce

Hydrologické sucho na Lužnici v roce 2018

Hydrological drought on the Lužnice river in 2018

Cíle práce

Hlavním cílem práce je vyhodnocení hydrologického sucha v roce 2018 při využití dostupných průtokových dat z profilů Pilař a Bechyně na Lužnici.

Díložními cíli jsou:

- Zhotovení extremity hydrologického sucha na Lužnici v roce 2018 srovnáním výsledků s předešlými roky
- Provedení literární rešerše na téma hydrologického sucha se zaměřením na období let 2014 až 2018 v Česku
- Představení metod hodnocení minimálních průtoků a nedostatkových objemů

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Úvodní část práce představuje rešerši o hydrologickém suchu, jeho příčinách a dopadech. Dále je pomocí dostupné literatury charakterizováno hydrologické sucho v letech 2014 až 2018 v Česku. Praktickou část práce tvoří analýza sucha na Lužnici v roce 2018 zpracovaná pomocí dat průměrných denních průtoků z limnigrafických stanic Pilař a Bechyně. K vyhodnocení hydrologického sucha jsou využity metody prahové hodnoty a nedostatkových objemů.

Datum zadání: 27. 11. 2018

Jméno studenta: Anna Junková

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

podpis

V Praze, 9. 5. 2019

.....

Ráda bych na tomto místě poděkovala vedoucímu své bakalářské práce RNDr. Miroslavu Šobrovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi byly věnovány během konzultací. Dále bych chtěla poděkovat za poskytnutá data, která byla nedílnou součástí pro zpracování této práce.

Abstrakt

Předložená bakalářská práce se zabývá problematikou hydrologického sucha na Lužnici v roce 2018. První část je zaměřena na provedení literární rešerše na téma sucha, jeho typy, příčiny a dopady. Dále je za pomoci literatury vyhodnoceno hydrologické sucho v letech 2014 až 2018 v Česku. Tato kapitola slouží jako východisko pro stěžejní část práce zabývající se hydrologickým suchem na Lužnici v roce 2018, k jehož vyhodnocení byla využita metoda prahové hodnoty a nedostatkových objemů. Analýza je provedena na základě dlouhých datových řad z limnigrafických stanic Pilař a Bechyně. Tyto profily jsou porovnávány za účelem zjištění případných rozdílů. Výsledky práce ukazují, že hydrologický rok 2018 byl na Lužnici z hlediska sucha v novodobé historii velmi významným rokem.

Klíčová slova: hydrologické sucho 2018, nedostatkové objemy, prahová hodnota, Lužnice

Abstract

This bachelor's thesis elaborates on hydrological draught on Lužnice river at 2018. First part is focused on literary research on draught types, causes and impacts. Following chapter evaluates hydrological draught in Czechia between 2014 and 2018. This research serves as a resource for the main part of the thesis, which deals with hydrological draught on Lužnice river at 2018. Computations are based on threshold level concept and deficit volumes methods. Analysis is performed on the basis of data series from limnigraphic stations Pilař and Bechyně. These profiles are compared for the purpose of determining differences. The results of the work show that the hydrological year 2018 on Lužnice river was very important year in modern history in terms of drought.

Key words: hydrological drought 2018, deficit volumes, threshold level, Lužnice river

Obsah

1	Úvod a cíle práce	7
2	Použité metody a data	8
2.1	Metoda prahové hodnoty	8
2.2	Metoda nedostatkových objemů	9
3	Charakteristika zájmového území	10
3.1	Geologická charakteristika	11
3.2	Geomorfologická charakteristika	12
3.3	Klimatická charakteristika	13
3.4	Hydrologická charakteristika	18
3.5	Pedologická charakteristika	20
3.6	Biogeografická charakteristika	20
4	Sucho	22
4.1	Definice a typy	22
4.2	Příčiny	25
4.2.1	Fyzickogeografické příčiny	25
4.2.2	Antropogenní příčiny	26
4.3	Dopady	28
5	Hydrologické sucho v letech 2014–2018 v Česku	31
5.1	Hydrologické sucho v roce 2015 v Česku	34
5.1.1	Podmínky vzniku hydrologického sucha v roce 2015 v Česku	34
5.1.2	Vyhodnocení hydrologického sucha v roce 2015 v Česku	35
5.2	Hydrologické sucho v roce 2018 v Česku	39
5.2.1	Podmínky vzniku hydrologického sucha v roce 2018 v Česku	40
5.2.2	Vyhodnocení hydrologického sucha v roce 2018 v Česku	42
6	Hydrologické sucho na Lužnici v roce 2018	46
6.1	Chod ročních průtoků	47
6.2	Počet suchých dní	49
6.3	Průběh hydrologického roku 2018	53
6.4	Čára překročení denních průtoků	57
6.5	Nedostatkové objemy	58
7	Diskuze	61
8	Závěr	68
9	Seznam použité literatury a zdrojů	69
9.1	Mapové podklady	73
9.2	Internetové zdroje	73
	Seznam tabulek	74
	Seznam obrázků	74
	Seznam grafů	75

1 Úvod a cíle práce

Po ničivých dopadech hydrologického sucha, které se v předešlých pěti letech vyskytovalo na našem území, se na tento hydrologický extrém zaměřuje čím dál větší pozornost hydrologů, vodohospodářů, zemědělců, ale i široké veřejnosti. Lze dokonce předpokládat, že dopady sucha jsou z globálního hlediska srovnatelné s ničivými dopady povodní. V současné době se v Česku vyskytuje suché období již od roku 2014 a rok 2018 je jedním z vrcholných let tohoto období. Dle dostupných dat ČHMÚ od roku 1961 byl tento rok z hlediska celkových srážkových úhrnů druhým nejsušším, a navíc je jeho letní období společně s rokem 2003 nejteplejším zaznamenaným za stejné období. V tomto roce byly hydrologické projevy sucha v podobě povrchových vod na velké části Česka zatím nejvyšší za období posledních let a mnohdy byla dosažena odtoková a stavová minima od počátku pozorování (Daňhelka a kol. 2019).

Nastíněný problém je námětem této bakalářské práce, jejíž hlavním cílem je vyhodnocení hydrologického sucha v roce 2018 při využití dostupných průtokových dat z profilů Pilař a Bechyně na Lužnici. Srovnáním výsledků s předešlými roky je zhodnocena extremita hydrologického sucha na Lužnici v roce 2018.

V rešeršní části práce jsou na začátku představeny metody hodnocení minimálních průtoků a nedostatkových objemů, které jsou v práci využity. Další kapitola popisující zájmové území se zabývá fyzickogeografickou charakteristikou regionu. Poté je pomocí dostupné literatury definováno hydrologické sucho, jeho příčiny a jeho dopady. V další kapitole je charakterizováno hydrologické sucho v letech 2014 až 2018 v Česku. Po obecném popisu problematiky jsou podrobněji popsány vrcholy tohoto období, tedy roky 2015 a 2018. Na tuto kapitolu navazuje praktická část, která se věnuje vyhodnocení hydrologického sucha v roce 2018 na Lužnici. Poslední dvě části práce jsou věnované diskuzi a závěru.

2 Použité metody a data

Velká část bakalářské práce je řešerského charakteru. Práce čerpá především z odborných knižních publikací zapůjčených v knihovnách Přírodovědecké fakulty a z odborných časopisů. Tyto zdroje poté byly doplněny o informace z internetových zdrojů se související tematikou či závěrečnými pracemi na obdobné téma. Druhou část práce tvoří praktická analýza sucha na Lužnici v roce 2018. Z dostupných dat byl zjišťován výskyt suchých období pro rok 2018, délka jeho trvání, časové rozložení a porovnání s lety předchozími. Dále byly analyzovány čáry překročení a nedostatkové objemy. Data byla zpracována pomocí programu MS Excel.

Potřebná data byla poskytnuta Českým hydrometeorologickým ústavem, konkrétně pobočkou v Českých Budějovicích. Jedná se o data průměrných denních průtoků ze dvou limnigrafických stanic. První limnigrafická stanice Pilař se nachází na 117. říčním kilometru u obce Majdalena v nadmořské výšce 436 m. Stanice Pilař je závěrovým profilem pro 22,1 % plochy povodí toku (plocha povodí po profilu Pilař je 935,23 km²). Data z profilu Pilař jsou dostupná od 1. 1. 1965 do 31. 10. 2018. Druhá limnigrafická stanice s názvem Bechyně se nachází na 11. říčním kilometru u obce Bechyně cca 150 m pod soutokem s řekou Smutnou. Profil leží v nadmořské výšce 354 m. Stanice Pilař je závěrovým profilem pro 95,7 % plochy povodí toku a plocha povodí po profilu Bechyně je 4 057 km². Data z profilu Bechyně jsou dostupná od 1. 11. 1910 až do 31. 10. 2018 a jde tedy o více než stoletou řadu průměrných denních průtoků (ČHMÚ 2019b). Umístění hydrologických profilů je znázorněno na obrázku č. 1.

Nejvýznamnějšími charakteristikami pro hydrologické sucho je samotný výskyt suchých období, doba jeho trvání a vzniklé nedostatkové objemy. Pro zjištění těchto charakteristik je klíčová prahová hodnota, která určuje hydrologické sucho (Van Loon, Van Lanen 2012).

2.1 Metoda prahové hodnoty

K určení hydrologického sucha byl využit koncept prahové hodnoty neboli threshold level concept. Podle tohoto konceptu dochází k hydrologickému suchu, pokud se hodnota sledované proměnné nachází pod předem stanovenou prahovou hodnotou. Období sucha začne, když hodnota proměnné klesne pod prahovou hodnotu a poté pokračuje, dokud není prahová hodnota opět překročena. Tím je tedy vymezena i délka trvání hydrologického sucha. Důležitým aspektem tohoto konceptu je správné zvolení prahového průtoku, který může být konstantní či proměnlivý (Feyen, Danker (2009); Van Loon, Van Lanen (2012); Van Loon, Laaha (2015)).

V této práci bude využívána konstantní prahová hodnota, protože je vhodnější pro určování suchých období a sledování sezónnosti sucha. Proměnlivá hodnota je vhodná spíše pro zjišťování odchylek od obvyklého ročního chodu průtoků (Skála 2017).

V Česku se nejčastěji využívá hodnota průtoků Q_{355d} . Jedná se o průtok, který je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen po 355 dní v roce. Tento průtok slouží k určení minimálního průtoků, který je nutný při odběrech vody zachovat ve vodním toku pro udržení jeho základních vodohospodářských a ekologických funkcí (ČHMÚ 2019a). Pro určení extrémních období sucha se využívá také hodnota Q_{364d} . Jde tedy o průtok, který je v dlouhodobém průměru dosažen či překročen po 364 dní v roce (Hanel a kol. 2013). Balvín a Vizina (2018) využívají také hodnoty Q_{330d} a Q_{300d} . Stejně jako u předchozích M-denních průtoků jde o průtok, který byl dosažen či překročen po 330, respektive 300 dní v roce. Hodnotu Q_{330d} využívá ve své práci také Šachová (2010).

V této práci bude nejčastěji využívána prahová hodnota Q_{355d} , použity však budou všechny výše uvedené prahové hodnoty.

2.2 Metoda nedostatkových objemů

Nedostatkový objem je součet odchylek od prahové hodnoty v období sucha. Jedná se o objem vody chybějící do prahové hodnoty průtoků za období trvání sucha. Jeho hodnota odpovídá množství vody, které by bylo teoreticky potřeba akumulovat v době sucha, aby byl zabezpečen limitní průtok, v tomto případě průtok Q_{355d} či Q_{364d} . Nedostatkové objemy jsou úzce spojeny s dobou trvání sucha, protože nedostatkové objemy se po tuto dobu akumulují. S tím souvisí také intenzita sucha, která je určena podílem nedostatkového objemu a trváním sucha (Vlnas a kol. 2010).

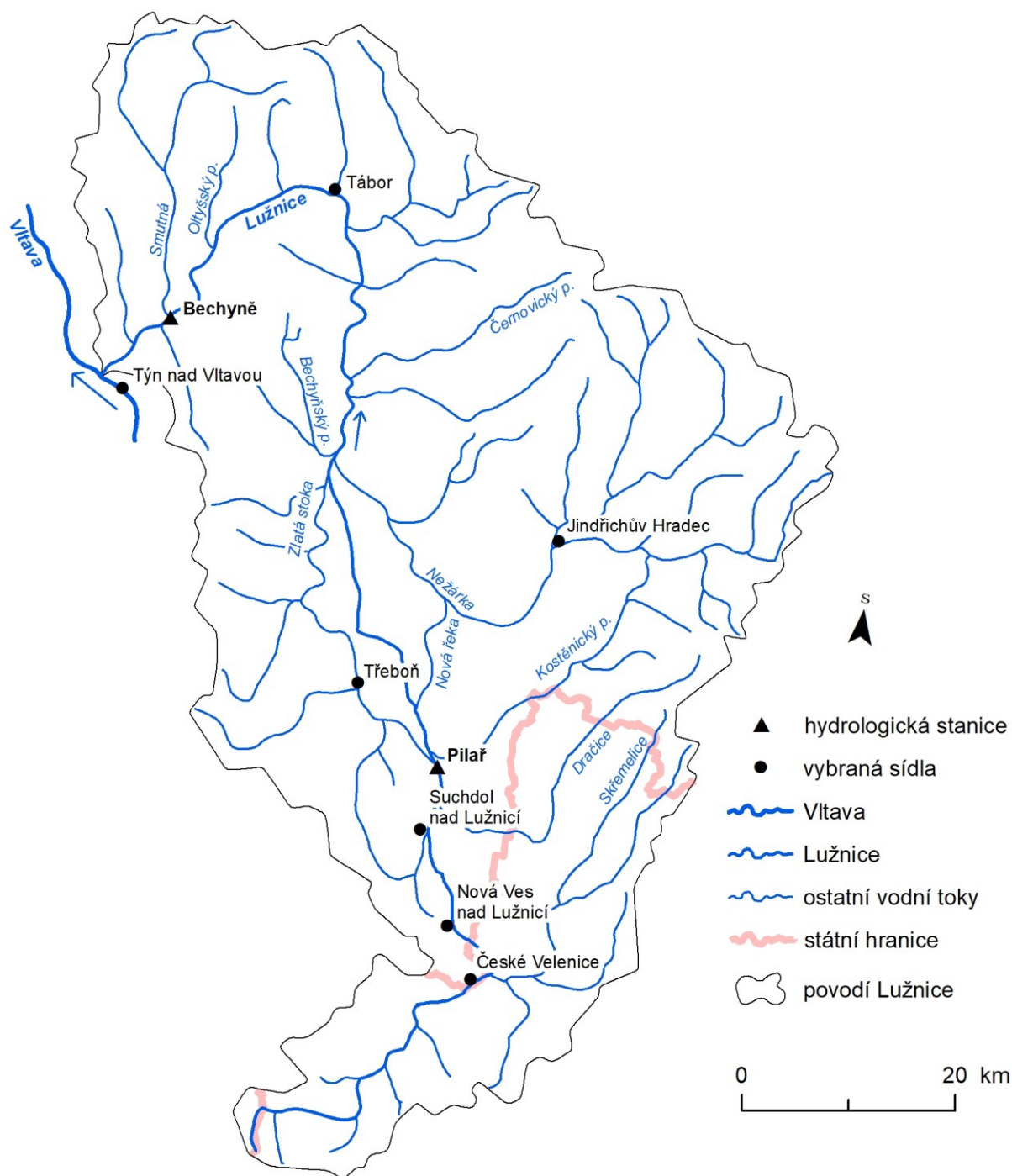
K vypočtení nedostatkových objemů je potřeba vymezit dny sucha, tedy dny, kdy je průměrný denní průtok nižší než zvolený limitní průtok. Poté lze pro každé období sucha vypočítat nedostatkový objem podle vzorce:

$$NO = \sum_{i=1}^t (LQ - Q_i) * 24 * 3600$$

kde t je počet dnů sucha, LQ velikost limitního průtoků v m^3/s a Q_i průtok v m^3/s i -tého dne období sucha. Jednotkou nedostatkového objemu je m^3 (Treml 2012).

3 Charakteristika zájmového území

Řeka Lužnice pramení na rakouské straně Novohradských hor ve výšce 990 m n. m. (Chábera a kol. 1985, Chábera 1998), podle Bílka (1999) ve výšce pouhých 920 m n. m. Řeka nejprve protéká rakouským územím pod názvem Lainsitz. Přibližně po 1,5 km vtéká do Česka a protéká jím necelých 5 km. Pak se Lužnice opět vrací do Rakouska, kde je její tok dlouhý 33 km. U Českých Velenic řeka tvoří 2,5 km dlouhý úsek státní hranice a vstupuje opět na rakouskou půdu. Po 7,5 km u obce Krabonoš vtéká řeka Lužnice už natrvalo do Česka (Chábera a kol. 1985, Chábera 1998). Řeka protéká k městu České Velenice horskou lesnatou krajinou a poté vtéká do rozsáhlé Třeboňské pánve, kde koryto řeky vytváří značné zákruty a boční ramena (Bílek 1999). Niva, která se nachází mezi Novou Vsí nad Lužnicí a Suchdolem nad Lužnicí je jedna z posledních zachovalých úseků nížinné meandrující řeky v Česku (Vlnas a kol. 2010). Dále po proudu se z řeky odděluje Zlatá stoka, která napájí velké množství rybníků jako je například Opatovický nebo Svět. Z řeky Lužnice vede také odvodňovací průplav Nová řeka, který spojuje Lužnici s Nežárkou a slouží k regulaci přítoku vody z Lužnice do rybníka Rožmberk. Poté následuje přírodní rezervace Meandry Lužnice, která je známá původním a meandrujícím korytem řeky. Řeka dále protéká okolo Třeboně a napájí rybník Rožmberk. Pak Lužnice protéká Chráněnou krajinnou oblastí Třeboňsko, nazpět přijímá Zlatou stoku a protéká Borkovickými blaty. U Tábora se řeka prohlubuje, zužuje a značně mění svůj směr ze severního na jihozápadní. Poté Lužnice pokračuje až do řeky Vltavy, kam se vlévá nedaleko Týna nad Vltavou (Bílek 1999). Průběh toku řeky je vyobrazen na obrázku č. 1.



Obrázek č. 1: Povodí Lužnice (zdroj: databáze ArcČR, databáze DIBAVOD, databáze OpenStreetMap)

3.1 Geologická charakteristika

Povodí Lužnice se nachází v geologické jednotce Český masiv z doby variské orogeneze. Skalní podklad této oblasti tvoří moldanubikum, které je rozprostřeno na rozsáhlé ploše mezi Vltavou a Dunajem. Moldanubikum je tvořeno silně regionálně přeměněnými horninami a častými granitoidními vyvřelinami. Přeměněné horniny moldanubika jsou poté reprezentovány především různými typy pararul a magmatitů, světlými ortorulami a granulity. Moldanubické

horniny byly několikrát zvrásněny a metamorfovány, naposledy v prvohorách při variském horotvorném procesu, kdy byly proniknuty tělesy hlubinných a žilných vyvřelin (Albrech a kol. 2003, Chlupáč a kol. 2011, Krásný a kol. 2012).

Lužnice pramení v oblasti granitoidního moldanobického plutonu, tvořeného svorovými rulami a pararulami. Dále po proudu vtéká do Třeboňské pánve, která vznikla tektonickými pohyby na konci druhohor. V ní se nachází slabě zpevněné nebo nezpevněné křídové, terciérní a kvartérní sedimenty. Mocnost křídových a terciérních sedimentů je poměrně mocná a dosahuje až 400 m (Albrecht a kol. 2003, Krásný a kol. 2012). Krásný a kol. (2012) dále uvádí, že celková plocha jihočeských pánevních sedimentů (do kterých je zařazena i Českobudějovická pánev ležící mimo povodí Lužnice) přesahuje 1 350 km². Nejstarší je zde senonské klikovské souvrství, které pokrývá největší území a má také nejvyšší mocnost. Poté následuje oligocénní lipnické souvrství a řada miocénních jednotek. Z dob pliocénu se zde nachází ledenické souvrství a sedimenty s přemístěnými vltavíny. Nejvýznamnější je souvrství mydlovarské, které pokrývá přibližně jednu čtvrtinu povrchu pánve a jeho mocnost je přibližně 60 m. Jeho složkami jsou například jíly, lignity, diatomové jíly a křemeliny. Do nejmladších kvartérních fluviálních sedimentů jsou zařazeny holocénní povodňové hlíny nacházející se v říčních údolích jako jílovitohlinité písky, a dále pleistocénní šterkopísčité uloženiny terasových stupňů. V oblasti povodí Lužnice se nacházejí také váté písky (Albrecht a kol. 2003, Chábera 1998).

V oblasti povodí Lužnice jsou poměrně rozšířené slatiny a přechodná rašeliniště, tzv. „blata“. Vyskytují se v Třeboňské pánvi v nesouvislém pruhu vedoucím středem pánve od Veselí nad Lužnicí až téměř k Českým Velenicím. Jejich vznik souvisí s cirkulací vystupujících podzemních vod do zlomových linií ve svrchnokřídových horninách a granitoidech moldanubického plutonu (Chábera 1998).

3.2 Geomorfologická charakteristika

Povodí Lužnice se nachází v geomorfologické provincii prvohorního stáří Česká vysočina. Ta se dělí na několik subprovincií neboli soustav, z nichž se v povodí Lužnice nachází Šumavská a Českomoravská (Albrech a kol. 2003).

Řeka Lužnice pramení v Šumavské soustavě v celku Novohradské hory. Ty se na území Česka dělí na větší Pohořskou hornatinu s nejvyšším vrcholem Kamencem (1 072 m) a mnohem menší Jedlickou vrchovinou s vrcholem Skalka (801 m). Novohradské hory dále přecházejí v celek Novohradské podhůří, které je tvořeno převážně málo členitou vrchovinou. Novohradské podhůří je děleno do 5 podcelků – Kaplická brázda, Stropnická pahorkatina,

Soběnovská vrchovina, Hornodvořist'ská sníženina a Klopanovská vrchovina (Albrech a kol. 2003).

Většinu povodí Lužnice však zabírá Českomoravská soustava, která je opět rozdělena do několika podsoustav, z nichž Jihočeské pánve, Středočeská pahorkatina a Českomoravská vrchovina leží v povodí Lužnice. Z jihočeských pánví se na území povodí Lužnice nachází značně rozsáhlá pánev Třeboňská. Jde o plochou sníženinu, jen při okrajích a na rozvodích mírně zvlněnou. Je více než 60 km dlouhá a 16–24 km široká. Třeboňská pánev je tektonicky podmíněná a rozkládá se na moldanubických horninách, permských, senonských a neogenních sedimentech. Dále se dělí na geomorfologické podcelky Lišovský práh, Kardašověčickou pahorkatinu a Lomnickou pánev. Na severu povodí Lužnice se nachází Středočeská pahorkatina, ze které se v povodí Lužnice nachází pouze Tábořská pahorkatina. Ta je vertikálně členitější a má hluboce zaříznutá údolí řek. Tábořská pahorkatina je dále členěna na dva geomorfologické podcelky na Píseckou pahorkatinu na západě a na Soběslavskou pahorkatinu na východě. Na východním okraji povodí Lužnice leží Českomoravská vrchovina. Z jejich celků leží v dané oblasti Křemešnická vrchovina a Javořícká vrchovina (Albrech a kol. 2003).

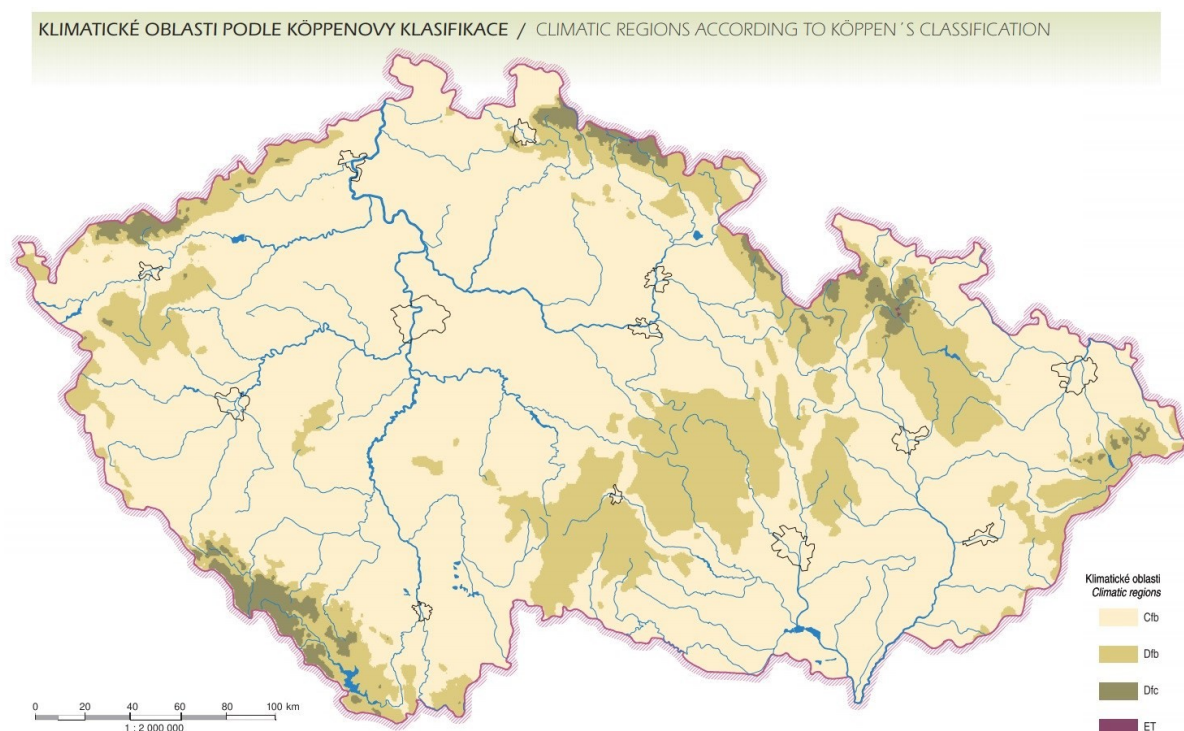
Nejvyšším místem povodí Lužnice je vrchol Myslivny s nadmořskou výškou 1 040 m a nejnižším místem je soutok s Vltavou v nadmořské výšce 347 m (Chábera a kol. 1985, Chábera 1998).

Na vývoj reliéfu působily jak pohyby zemské kůry, tak změny v podnebí. Dnešní vzhled reliéfu povodí Lužnice odpovídá dlouholetému a složitému geomorfologickému vývoji, který probíhal v různých fyzickogeografických podmínkách. Vůdčími horizonty při sledování tohoto vývoje jsou zarovnané povrchy (Chábera a kol. 1985, Chábera 1998). V křídě byla například tato oblast částečně zaplavena mořem a tím pádem lze v této oblasti nalézt vrstvy mořských sedimentů (Chlupáč a kol. 2011).

3.3 Klimatická charakteristika

Povodí Lužnice se nachází v mírném klimatickém pásu v přechodné oblasti mezi kontinentálním a oceánským střeoevropským klimatem. Kontinentální vliv dokládají vyšší teploty v letním období a vliv oceánu zmírňuje klima v zimním období (Rožnovský 2010). Gorczyňského index kontinentality se v povodí Lužnice pohybuje mezi 26 až 28, což značí maritimní podnebí (in-počasí 2014). Podle Köppenovy klasifikace podnebí se většina povodí Lužnice vyskytuje v klimatickém typu Cfb, tedy v mírném oceánském podnebí s teplými léty. Vyšší oblasti se poté nacházejí v klimatickém typu Dfb, znamenající vlhké kontinentální

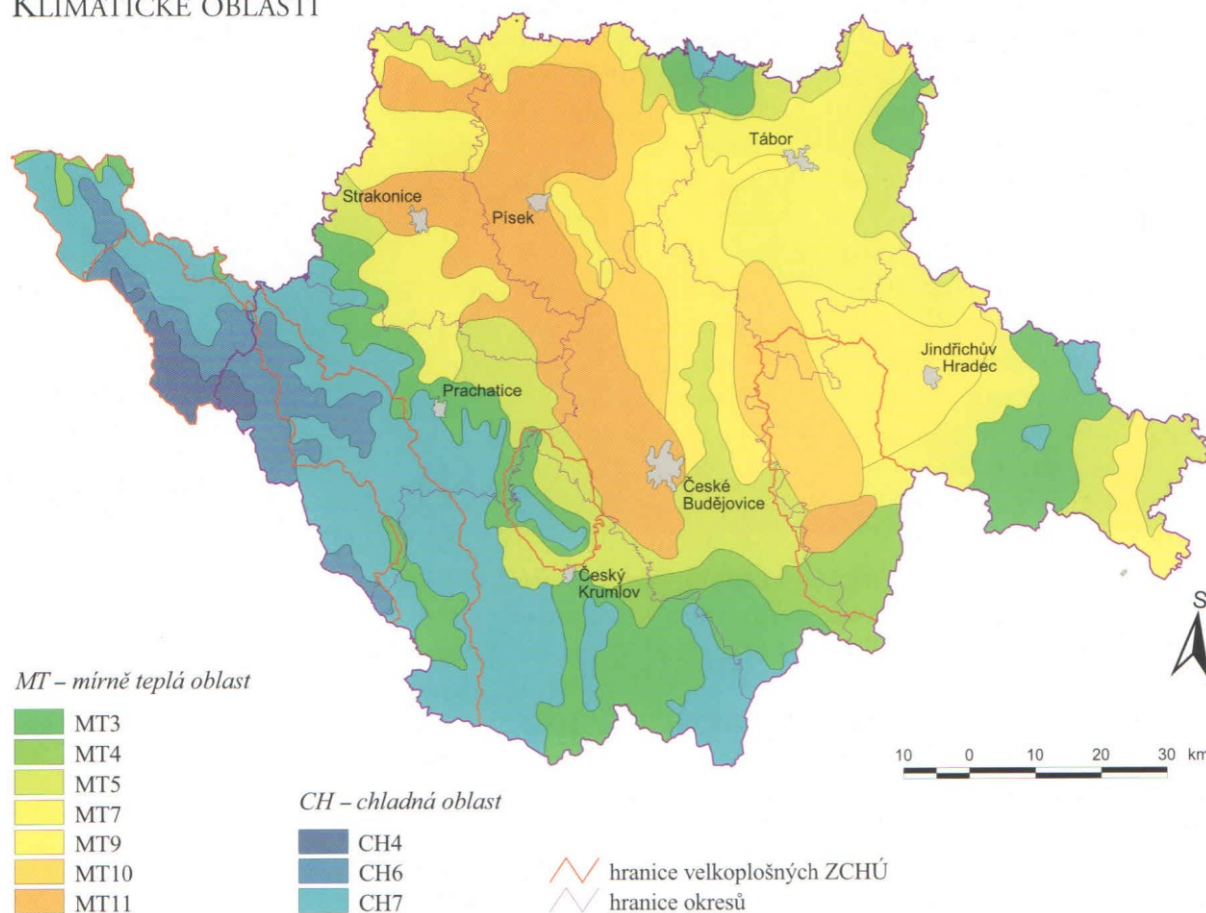
podnebí s teplými léty (Atlas podnebí Česka 2007). Klimatické oblasti podle Köppenovy klasifikace podnebí v Česku jsou znázorněny na obrázku č. 2.



Obrázek č. 2: Klimatické oblasti podle Köppenovy klasifikace podnebí v Česku (zdroj: Atlas podnebí Česka 2007)

Podle klimatického rozdělení patří nížinné oblasti převážně do mírně teplé klimatické oblasti a oblasti přibližně od výšky 700 m n. m. jsou začleněny do chladné klimatické oblasti (Albrecht a kol. 2003). Klimatické oblasti povodí Lužnice jsou znázorněny na obrázku č. 3. Přestože se na našem území nejčastěji vyskytuje vzduchová hmota mírného pásma, chvílemi má v letním období vliv vzduchová hmota tropická a v zimním období arktická (Rožnovský 2010). Kromě samotné polohy v mírném pásu je určující i geomorfologická členitost území a expozice terénu vůči převládajícímu západnímu proudění vzduchu (Atlas podnebí Česka 2007).

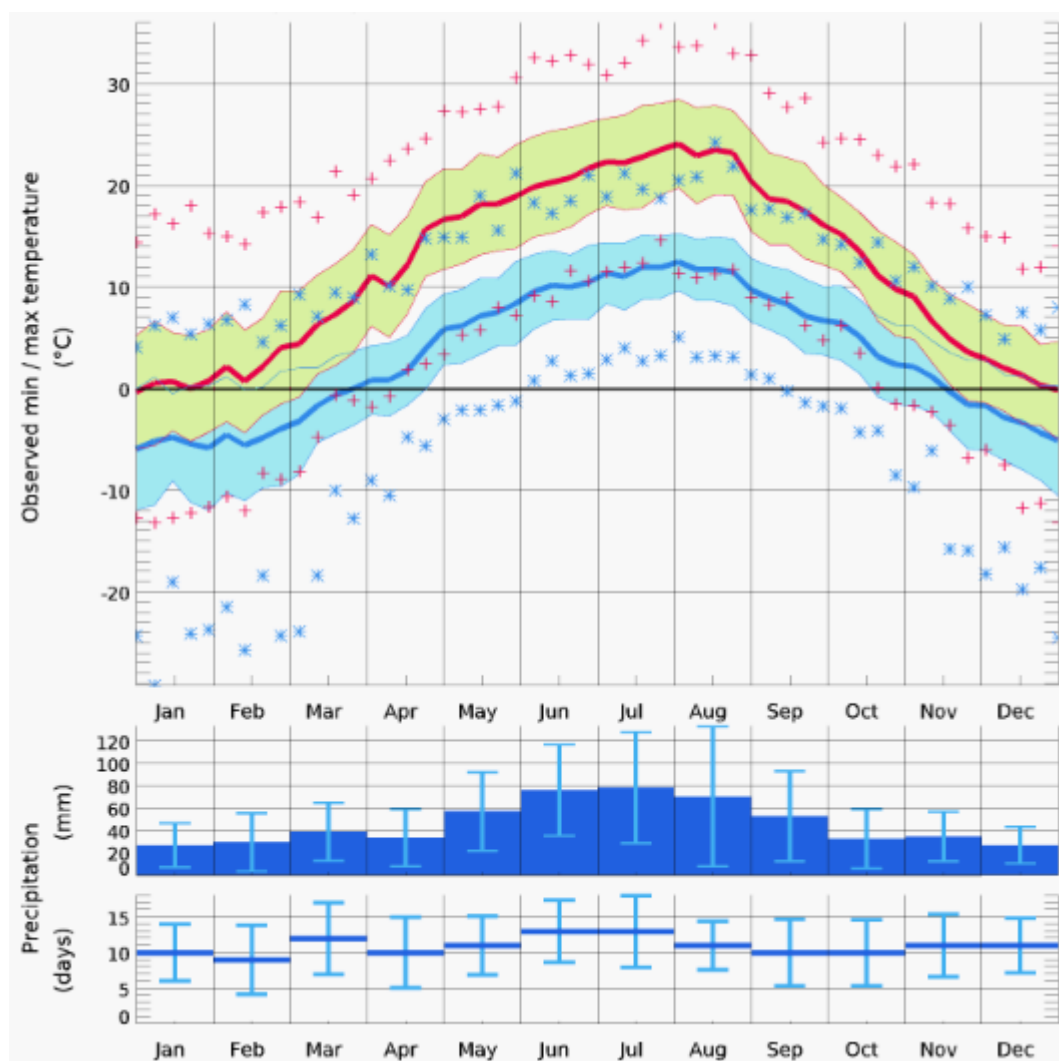
KLIMATICKÉ OBLASTI



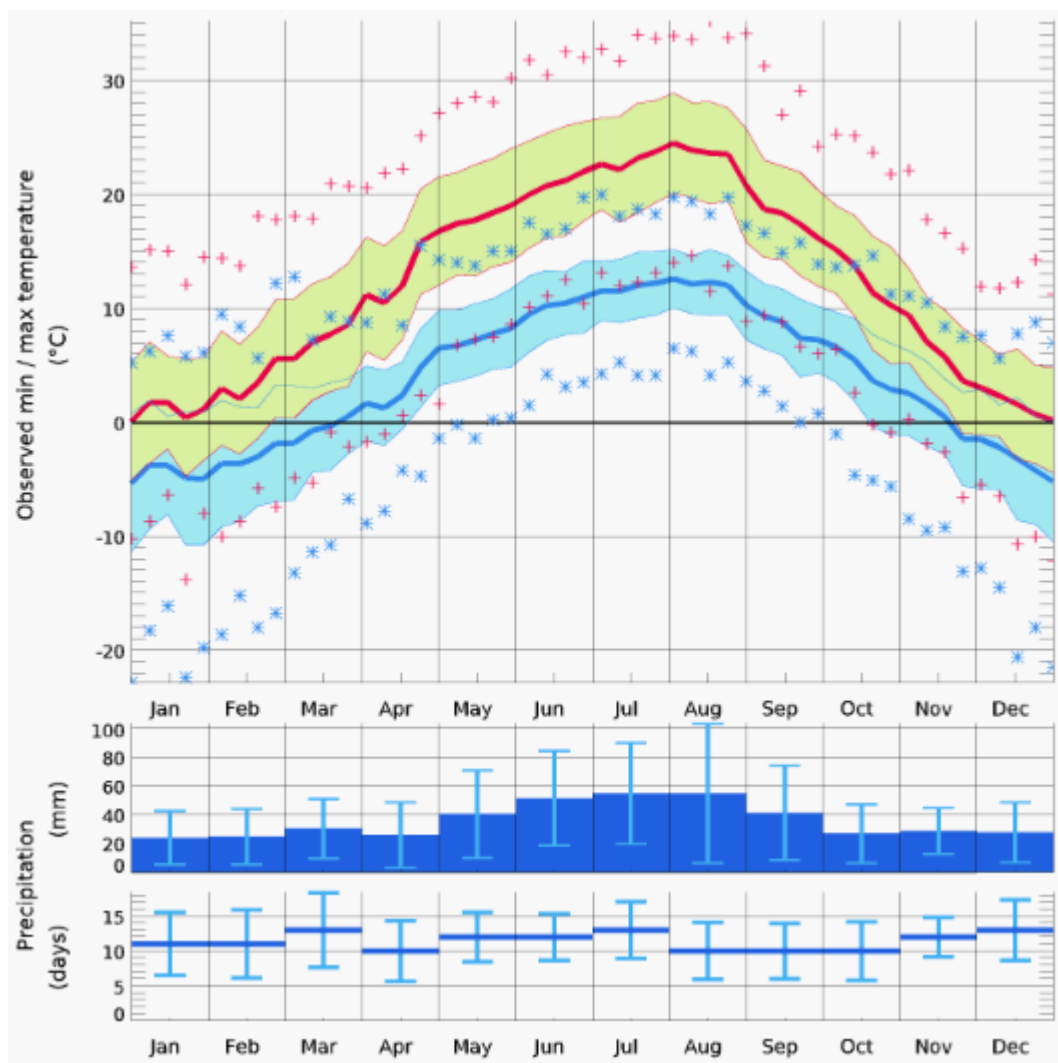
Obrázek č. 3: Klimatické oblasti v Jihočeském kraji a na Šumavě (zdroj: Albrecht a kol. 2003)

Průměrná teplota vzduchu je v oblasti povodí Lužnice 6 °C až 8 °C (Atlas podnebí Česka 2007). Nejvyšší průměrné hodnoty jsou zaznamenány v nejnižší položených oblastech, zejména Třeboňské pánvi, kde průměrná teplota dosahuje 7,5 °C až 8 °C a teplota dále klesá s nadmořskou výškou. Odchýlení nastává ve vnitřních částech větších měst vlivem zástavby a produkce odpadního tepla (Albrecht a kol. 2003). Nejnižší teploty jsou v pramenných oblastech v Novohradských horách a Českomoravské vysočině. V lednu, jakožto nejstudenějším měsíci, je průměrná teplota vzduchu této oblasti mezi -4 až -2 °C a v červenci, jakožto měsíci nejteplejším, se pohybuje teplota mezi 16 °C a 18 °C. Průměrné roční úhrny srážek v povodí Lužnice dosahují 550 až 800 mm. Stejně jako teplota, jsou srážky značně ovlivněné nadmořskou výškou. Nejnižší naměřené hodnoty se nachází v nížinách na dolním toku a nejvyšší ve vyšších nadmořských výškách v Novohradských horách a v Českomoravské vrchovině. Nejvíce srážek připadá na léto, kdy je maximum převážně v červenci, a nejméně srážek připadá na zimu, kdy jsou nejnižší srážky především v lednu a únoru (Atlas podnebí Česka 2007). Průběh teploty a množství srážek je znázorněn na klimadiagramech na obrázcích č. 4 a 5. Obrázek č. 4 znázorňuje průběh klimatických hodnot na stanici v Českých Velenicích,

kteřá charakterizuje oblast horní Lužnice. Klimadiagram pro stanici v obci Měšice (nedaleko města Tábor) na obrázku č. 5 charakterizuje spodní část toku. Klimadiagramy pro pramennou oblast či pro nižší část toku nebyly nalezeny. Rozdíl mezi klimadiagramy je zřetelný především v oblasti letních srážek. Ty na profilu v Měšicích dosahují v průměru 60 mm a v Českých Velenicích dosahují v průměru až 80 mm. Průběh teplot je na stanicích srovnatelný.



Obrázek č. 4: Klimadiagram pro stanici České Velenice (zdroj: METEOBLUE 2019)



Obrázek č. 5: Klimadiagram pro stanici Měšice (zdroj: METEOBLUE 2019)

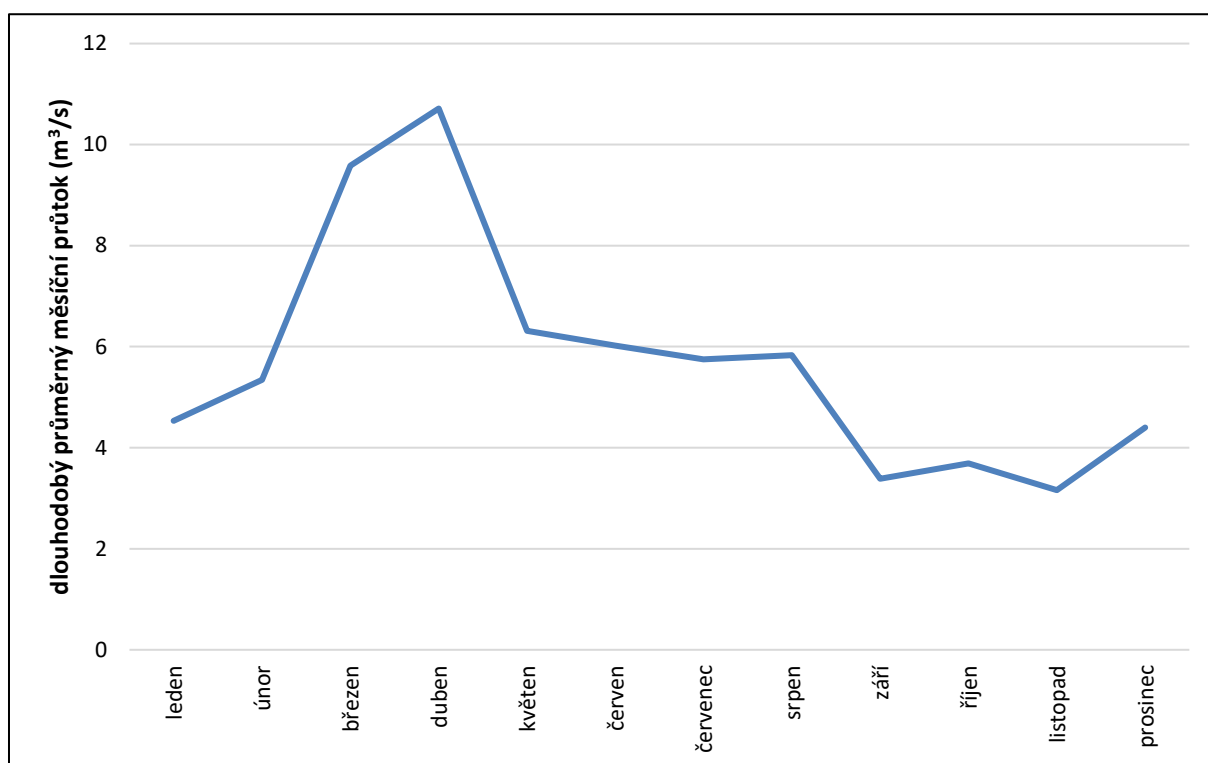
Podle rozložení srážek v průběhu roku lze charakterizovat kontinentalitu a oceanitu dané oblasti takzvanou mírou ombrické kontinuality a oceanity. Kontinentální chod srážek je charakterizován letním maximem a zimním minimem a je typický pro nížiny a kontinentální polohy. Oceánský chod srážek je charakteristický pro vyšší polohy a v tomto případě podíl srážek roste na podzim a v zimě a klesá celková rozkolísanost ročního chodu srážek (Atlas podnebí Česka 2007). Ve vyšších otevřených oblastech, jako je Českomoravská vrchovina a Novohradské hory je průměrná roční rychlost větru 4 m/s. V nižších oblastech v Třeboňské pánvi se rychlost větru pohybuje okolo 2 m/s (Albrecht a kol. 2003). Největřnějšími měsíci jsou zpravidla únor, případně leden, březen, duben a nejkldnější je srpen a září. Roční průměr oblačnosti kolísá okolo 65 %. Nejjasnější je srpen a září a nejoblačnější je prosinec a listopad (Chábera a kol. 1985).

3.4 Hydrologická charakteristika

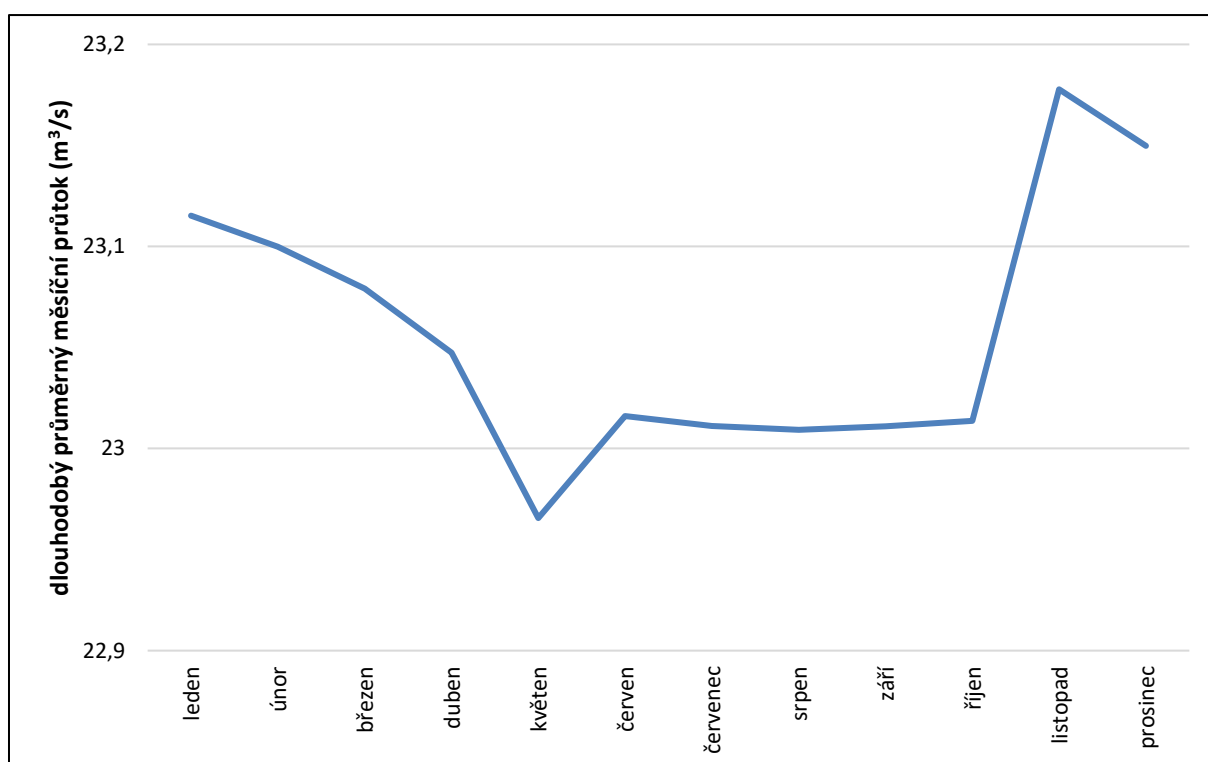
Délka řeky Lužnice a plocha jejího povodí jsou odlišné podle různých autorů. Podle některých řeka Lužnice měří 199 km a odvodňuje 4 226 km² (Albrecht a kol. 2003, Chábera a kol. 1985, Chábera 1998). Vlnas a kol. (2010) tvrdí, že řeka měří 208 km a odvodňuje 4 234 km². Pomocí programu ArcGIS byla vypočtena také délka 199 km a plocha 4 233 km². Tyto hodnoty však můžou být značně zkresleny generalizací dat. Absolutní vzdálenost mezi pramenem a ústím je 75 km. Z poměru skutečné délky toku a vzdálenosti od jeho pramene k ústí lze spočítat míru křivolakosti, která má hodnotu 2,80. Lužnice je tedy relativně křivolaká. Výškový rozdíl od pramene po ústí je 573 m a řeka má průměrný sklon 2,8 ‰ (Chábera a kol. 1985, Chábera 1998). Průměrný průtok řeky je 24,3 m³/s (Chábera a kol. 1985, Chábera 1998) a podle Vlnase a kol. (2003) teče Lužnice oproti ostatním jihočeským řekám pomalu. Specifický odtok je udáván na 5,75 l/s*km² (Chábera a kol. 1985, Chábera 1998). Hodnota specifického odtoku je však v rámci povodí značně proměnlivá. Nejvyšší je na horním toku, kde může dosahovat až dvojnásobných hodnot a na dolním toku mohou být hodnoty poloviční (Krásný a kol. 2012). Hustota říční sítě je relativně nízká s hodnotou 0,49 km toku na km². Charakteristika protáhlosti povodí je 0,12, odtokový součinitel činí 0,27 a lesnatost povodí je 30 %. Řeka Lužnice má značně asymetrické povodí a nejvýznamnější přítoky přijímá z pravé strany. Podle absolutní řádovosti je Lužnice tokem III. řádu (Chábera a kol. 1985, Chábera 1998).

Vodní režim v horní části řeky Lužnice je velmi podobný většině českých řek. Největší množství vody v řekách je v období tání sněhu či při letních regionálních srážkách a bouřkách. Naopak nejnižší vodní stavy jsou na podzim. Tomu odpovídá i graf č. 1, který znázorňuje odtok v průběhu roku na profilu Pilař. Odlišná situace je však na profilu Bechyně (graf č. 2), kde je odtok v průběhu roku mnohem více vyrovnaný. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší vypočtenou hodnotou dlouhodobého měsíčního průtoku nepřesahuje 1 m³/s. Nejvyšší hodnoty se vyskytují na podzim, kde by teoreticky měly vyskytovat minima, jako na profilu Pilař. Průtok je však na podzim ovlivněn vypouštěním rybníků, které se nacházejí na toku mezi profilem Pilař a Bechyně. Minimální průtoky na obou profilech můžou být ovlivněny také vývěrem podzemních vod (Krásný a kol. 2012).

Odtokový režim Lužnice byl značně poznamenán člověkem, konkrétně převody mezi dílčími povodími, redistribucí odtoku během roku, akumulací vody v rybnících nebo nárazovým vypouštěním (Albrecht a kol. 2003).



Graf č. 1: Odtok v průběhu roku na profilu Pilař (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)



Graf č. 2: Odtok v průběhu roku na profilu Bechyně (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

3.5 Pedologická charakteristika

Při vývoji půdního pokryvu hraje nejvýznamnější roli výšková členitost, klimatické poměry a horninové podloží (Albrecht a kol. 2003). Podle Duba (1963) má na odtok výrazný vliv půdní zvrstvení a vlhkost půd. Nejrozšířenějšími skupinami v povodí Lužnice jsou půdy hydromorfnní a kambizemě (Albrecht a kol. 2003).

V Třeboňské pánvi, která zaujímá značnou část povodí Lužnice, se nachází především hydromorfnních půdy, z nichž nejrozšířenější jsou gleje. Ty se vyvinuly na místech s trvale zvýšenou hladinou podzemní vody až téměř k povrchu, nebo případně i nad něj. Gleje lze nalézt i mimo Třeboňskou pánev v pásích podél vodních toků. Na gleje navazují pseudogleje, které se nacházejí především v oblastech s nepropustným podložím, které zadržuje srážkovou vodu. V bezodtokých depresích vznikly postupnou biologickou akumulací rostlinného materiálu organozemě. V oblasti kolem vodních toků se vyskytují také fluvizemě, které vznikají povodňovou sedimentací a mají výraznou vrstevnatost (Albrecht a kol. 2003).

Na pseudogleje dále navazují kambizemě, které se nacházejí již ve vyšších polohách a v pahorkatinách. Kambizem v povodí Lužnice lze nalézt také v Třeboňské pánvi, což je velmi neobvyklé, protože kambizemě se většinou v takhle nízkých polohách neobjevují. V nejvyšších polohách povodí Lužnice, například v Novohradských horách, se vyskytují podzoly (Albrecht a kol. 2003).

3.6 Biogeografická charakteristika

Území povodí Lužnice patří do fytogeografické jednotky Českomoravské mezofytikum. Přirozenou vegetací této oblasti jsou acidofilní bikové a jedlové doubravy, podhorské acidofilní a květnaté bučiny, v nejteplejších částech území dubohabřiny a místy teplomilné doubravy. V dnešní době zde však převažují zemědělské a lesní kultury. V nivě meandrujícího toku Lužnice je zachována mozaika zaplavovaných luk, rákosin, vysokých ostřic a vodní vegetace se vzácnou květenou. V jihočeských pánvích se na trvale zamokřených stanovištích vyskytují bažinné olšiny. V oblasti rašelinišť se nachází ostřicovomechová a ostřicovorašelíníková společenstva. Ve vyšších polohách nad 550 m n. m. se vyskytuje fytogeografický obvod České oreofytikum. Přirozenou vegetaci zde představují horské květnaté a acidofilní bučiny. V aktuální vegetaci zde převládají lesní kulturní porosty s převahou smrku. Mimo les převažují louky a pastviny. Od poloviny 19. století lesní plochy přibývají, ale jeho skladba není přírodní ani přirozená, tedy stavbou podobající se přírodní. V této oblasti převládají smrkové a borové monokultury (Albrecht a kol. 2003).

K faunisticky a zoogeograficky nejvýznamnějším živočichům Novohradských hor patří druhy vázané na horské jehličnaté a smíšené lesy, které jsou značně izolované od sousedních populací. Příkladem je datlík tříprstý nebo kos horský. K velmi cenným druhům této oblasti patří tetřev hlušec a jeřábek lesní, kteří byli dříve rozšíření po celém Česku. V Novohradských horách se nachází také rys ostrovid repatriovaný od 70. let 20. století. V oblasti rašelinišť se nacházejí cenné tyrfofily a tyrfobionty. V oblasti rybníční soustavy v Třeboňské pánvi se nachází velmi vzácné synuzie vodních a mokřadních živočichů, zejména vodních ptáků (Albrecht a kol. 2003).

4 Sucho

Sucho je často využívaný, avšak neurčitý pojem, který obecně znamená nedostatek vody oproti očekávanému množství v určité oblasti. V současné literatuře se však ukázalo, že vypracování vhodné univerzální definice sucha je téměř nereálný úkol. Problematikou definicí sucha se zabývali například Dracup, Lee, Paulson (1980), Wilhite, Glantz (1985), Tallaksen, Madsen, Clausen (1997), Hisdal, Tallaksen (2000), Mishra, Singh (2010), nebo Van Loon, Van Lanen (2012).

4.1 Definice a typy

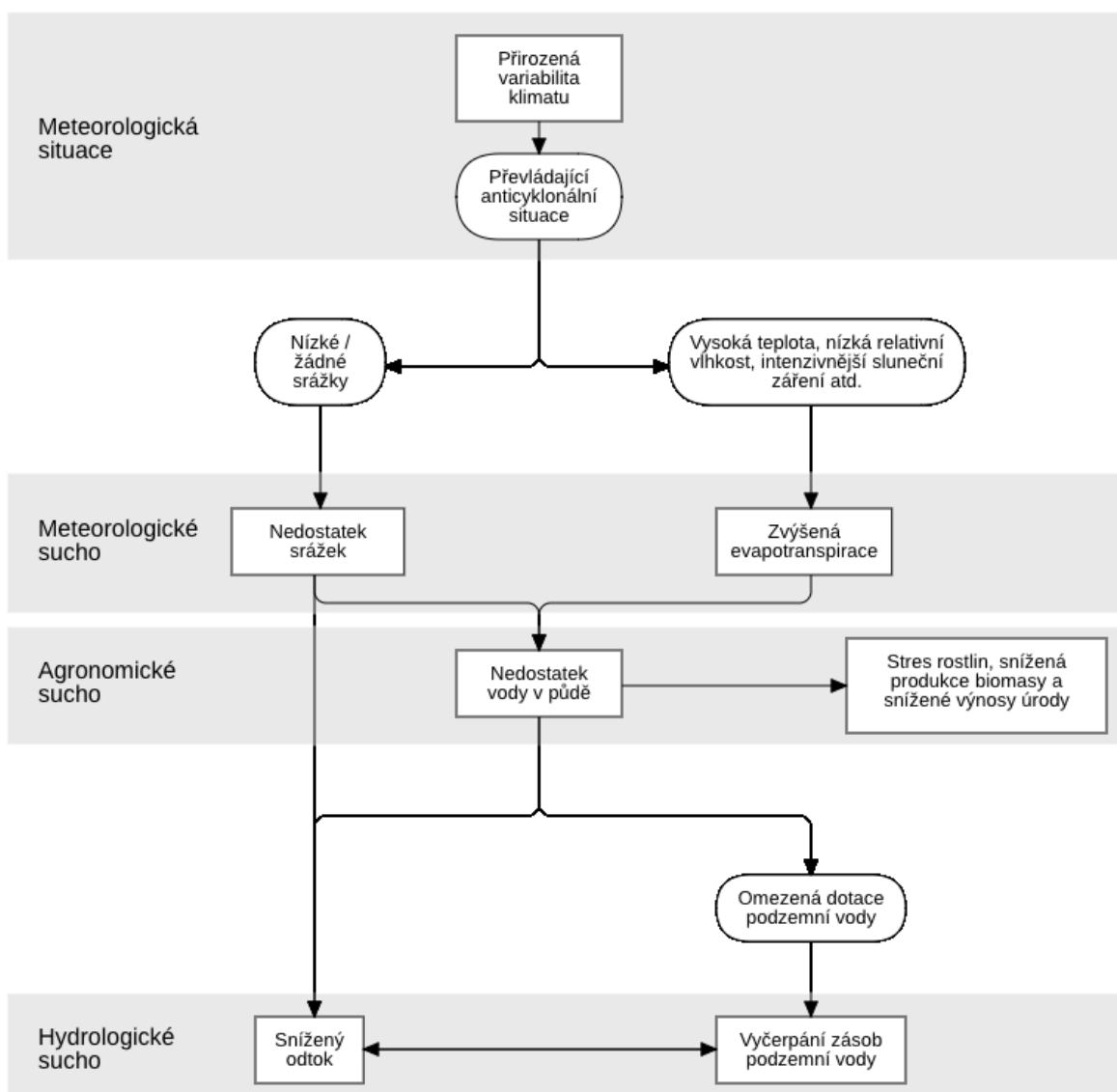
Velká rozmanitost příčin, dopadů a délky trvání společně s regionální diferenciací způsobují, že sucho není možné vyjádřit jednotnou definicí. Wilhite a Glantz (1985) dokonce našli více než 150 publikovaných definic sucha. Dracup, Lee a Paulson (1980) vidí problém definice sucha mimo jiné v zařazení pojmu do různých akademických studijních oborů jako je meteorologie, hydrologie, zemědělství či ekonomie. Další překážkou v definování sucha je regionální diferenciaci, protože v různých klimatických oblastech se za sucho považuje jiná situace. Například na Bali je definováno sucho šesti dny bez srážek, ale v Libyi nastává sucho až po dvou letech bez srážek (Hudston, Hazen 1964, cit. v Dracup, Lee, Paulson 1980, s. 297).

Jelikož definice sucha není jednotná, může být sucho charakterizováno různými způsoby. Brázdil, Trnka a kol. (2015) definují sucho jako zápornou vodní bilanci od klimatického normálu v dané oblasti během určitého časového intervalu. Dále například Vlnas a kol. (2010) definují sucho jako nedostatek vody k naplnění určitých požadavků v daném místě a čase. Podle Němce, Koppa a kol. (2009) nastane sucho poté, co není dostatek vody ve vodním zdroji pro účelovou potřebu určitého uživatele, jako je například zemědělec, průmyslový podnik nebo obyčejný odběratel pitné vody. NDMC (2019) (National Drought Mitigation Center) považuje sucho za nebezpečný přírodní jev, který je však normální a opakující se projev klimatu. Ačkoli sucho jako přírodní jev lidé nemohou ovládat, způsoby, jakými lidé vodu využívají, značně zhoršují následky přírodního nedostatku vody. Podle Brázdila, Trnky a kol. (2015) může být sucho lidskou činností dokonce vyvoláno, a to odebráním většího množství vody, než je příroda schopná doplnit, nevhodným hospodařením s vodou, nebo změnou krajinného pokryvu. NDMC (2019) navíc zmiňuje koncepční a funkční definice. Koncepční definice se zaměřují na relativní vyjádření sucha a funkční zkoumají spíše nástup, závažnost a ukončení sucha. Stejně rozdělení definic popisují také Mishra, Singh (2010).

Sucho je obvykle členěno v závislosti na časovém měřítku a jeho dopadech na sucho meteorologické, agronomické, hydrologické a socioekonomické (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Jako první nastává vždy sucho meteorologické a další typy sucha nastávají s různým zpožděním. Meteorologické sucho je obecně definováno nedostatkem srážkových poměrů oproti průměrnému množství (ČHMÚ 2019c). Dle Němce, Koppa a kol. (2009) je meteorologické sucho ovlivněno meteorologickými veličinami, které určují množství vody v krajině, což je především množství srážek a jejich časoprostorové rozložení, dále pak veličiny ovlivňující evapotranspiraci, jako je teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, rychlost větru a sluneční záření. Tyto veličiny ovlivňující evapotranspiraci mohou sucho prohloubit, ale také zmírnit (ČHMÚ 2019c).

Brzy po nástupu sucha meteorologického, nastává sucho agronomické, které trvá v měřítku týdnů až 6 až 9 měsíců (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Agronomické sucho vzniká, pokud dostupné množství srážek není schopno pokrýt potřeby zemědělských kultur (Němec, Kopp a kol. 2009). Je způsobeno nejen meteorologickými faktory, ale také přírodními podmínkami, rozdílnými reakcemi nebo požadavky pěstovaných rostlin a odlišnými způsoby hospodaření (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Podle NDMC (2019) by měla být definice agronomického sucha schopna také zohlednit proměnlivou náchylnost plodin v různých fázích jejich vývoje, od vzniku až po dospívání. A právě kvůli velkému množství faktorů je téměř nemožné vytvořit jednotnou definici agronomického sucha. Rožnovský a kol. (2012) vyčleňují také navíc sucho půdní a fyziologické, které je dáno nedostatkem vody z hlediska potřeb jednotlivých druhů rostlin.

Pokud nepříznivé meteorologické podmínky přetrvávají, dochází k hydrologickému suchu. Tato situace se projeví poklesem vodní hladiny v tocích, nádržích a jezerech, snížením vydatnosti pramenů a poklesem hladiny podzemní vody. Hydrologické sucho nastává s určitým zpožděním po suchu meteorologickém a vyvíjí se postupně, protože povrchová voda je doplňována odtokem ze zásob podzemní vody. Tyto zásoby v podzemních vodách jsou velmi důležité a mohou značně ovlivnit vznik, konec i průběh hydrologického sucha (Vlnas a kol. 2010). Hisdal, Tallaksen (2000) a Mishra, Singh (2010) dokonce zvlášť vyčleňují podzemní sucho (groundwater drought). Kvůli retardačním faktorům se hydrologické sucho může objevovat i po odeznění meteorologického sucha a zároveň při výskytu meteorologického sucha se nemusí projevovat sucho hydrologické (Rožnovský a kol. 2012). Hydrologické sucho se může objevit či pokračovat i v zimním období s dostatkem srážek z důvodu akumulace srážek ve sněhové pokrývce a ledu (Vlnas a kol. 2010). Postup sucha od meteorologických příčin až po sucho hydrologické je ukázáno na obrázku č. 6.



Obrázek č. 6: Postup sucha od meteorologické situace až po hydrologické sucho (zdroj: Stahl 2001, upraveno)

Dalším druhem je sucho socioekonomické, které se zabývá především dopadem sucha meteorologického, agronomického a hydrologického na společnost a její hospodářské aktivity (Němec, Kopp a kol. 2009). Dle Brázdila, Trnky a kol. (2015) lze o socioekonomickém suchu hovořit poté, co výskyt sucha začíná negativně ovlivňovat celou společnost, mimo zemědělství (a s tím spojeného lesnictví) a vodní hospodářství. Mishra, Singh (2010) pohlíží na socioekonomické sucho tak, že nastane poté, co poptávka po ekonomickém majetku překročí nabídku v důsledku nedostatku zásob vody. V krajních případech může nedostatek vody ovlivnit i celou ekonomiku či fungování společnosti (Brázdil, Trnka a kol. 2015). NDMC (2019) zvlášť vyčleňuje sucho ekonomické.

Rožnovský a kol. (2012) zmiňují Thornthwaiteovu klasifikaci podnebí, která dělí události sucha na stálé, sezónní a nahodilé. Stálé sucho se objevuje v nejsušších klimatických pásech, sezónní převážně v oblastech monzunového podnebí a nahodilé sucho nastává v důsledku nepravidelně se vyskytujících období podnormálních srážek trvající určitou dobu. Zde je však nutné podotknout, že stálé a sezónní sucho se vztahuje spíše k pojmu aridita, což je dlouhodobý charakter klimatu. Termínu sucho by tedy v této klasifikaci odpovídalo pouze sucho nahodilé. Němec, Kopp a kol. (2009) zmiňují také rozdělení „suchosti“ na nedostatek vody, sucho, ariditu a desertifikaci.

4.2 Příčiny

Sucho je velmi složitý jev, který vzniká velkým množstvím faktorů. Obvykle je příčinou sucha abnormální atmosférická cirkulace, která způsobí nedostatek srážek, a proto je důležité znát běžné klimatické podmínky dané lokality (Blinka 2009). V poslední době se však čím dál výraznější role člověka, který může sucho ovlivňovat, nebo může sucho dokonce způsobit (Tallaksen, Van Lanen 2004). Příčiny sucha jsou tedy děleny na přírodní a antropogenní.

4.2.1 Fyzickogeografické příčiny

Základní příčinou sucha je nedostatek srážek, který je podle ČHMÚ (2019c) definován srovnáním srážkových poměrů aktuálního období k období dlouhodobému. U srážek však není důležité jen jejich množství, ale i časoprostorové rozložení a intenzita. Při nedostatku srážek nastává meteorologické sucho, poté dojde k poklesu hladiny podzemní vody a vznikne sucho zemědělské. Pokud nedostatek srážek pokračuje, dojde ke snížení odtoku ve vodních tocích a vznikne sucho hydrologické. To se však ukáže až po určité době, protože odtok ve vodních tocích je doplňován odtokem ze zásob podzemních vod. Všechny tyto typy mohou vést až k suchu socioekonomickému (Vlnas a kol. 2010). Brázdil, Trnka a kol. (2015, s. 197) tvrdí, že průměrná pole přízemního tlaku vzduchu v suchých měsících vykazují společné znaky s „výrazně vyvinutou oblastí Azorské tlakové výše a hřebenem vysokého tlaku vzduchu, který zasahuje do regionu střední a částečně i východní Evropy“. Nízký tlak vzduchu je typický v oblasti Severního moře, Skandinávie a východního Středomoří. Tyto synoptické situace jsou podle autorů v teplé části roku v Evropě vhodné pro počasí s nadprůměrnými teplotami vzduchu a podprůměrnými úhrny srážek. Lze také předpokládat, že srážky jsou častější během cyklonální situace než při anticyklonální, která přináší sušší počasí (Brádka 1972, cit. v Brázdil, Trnka a kol. 2015, s. 200). Vliv na místní proměnlivost srážek má nadmořská výška a expozice vzhledem k převládajícímu proudění (Rožnovský a kol. 2012).

Další významnou příčinou sucha je evapotranspirace, což je výpar z půdy společně s výparem produkovaným rostlinami. Je to celkový výpar ze zemského povrchu do atmosféry, který se skládá z evaporace a transpirace. Příčinou sucha je větší množství vypařené vody evapotranspirací, než je množství srážek. Evapotranspiraci podporuje především vyšší teplota vzduchu, dále pak intenzivnější sluneční záření, nízká relativní vlhkost vzduchu nebo intenzivnější proudění vzduchu (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Právě vyšší teplota vzduchu úzce souvisí s evapotranspirací a značně ovlivňuje intenzitu a délku trvání sucha. Například v letním období vysoké teploty zvyšují intenzitu výparu a v zimním období dlouhodobé teploty pod 0 °C způsobují akumulaci vody ve sněhu či ledu (Vlnas a kol. 2010).

Důležitým faktorem je také kapacita povodí, která stanovuje schopnost dané oblasti vodu zachytit a udržet. Ta je určena hydrogeologickými podmínkami, a proto povodí s podobnými vlastnostmi geologického podloží reagují na příčiny vzniku sucha podobně (Estrela a kol. 2001). Z pedologického hlediska může skladba půd ovlivnit výskyt půdního sucha, kdy je výskyt sucha vyšší například na písčitých půdách (Rožnovský 2010).

4.2.2 Antropogenní příčiny

V dnešní době téměř neexistují povodí bez antropogenního ovlivnění. Sucho je značně ovlivňováno například využíváním vodních zdrojů, znečištěním ovzduší emisemi produkovanými člověkem, které ovlivňují světové klima, změnou krajinného pokryvu, nebo erozí (Tallaksen, Van Lanen 2004). Lidská činnost nejenom že ovlivňuje sucho, ale také ho může vyvolat (Mishra, Singh 2010). Sucho bude dokonce podle Eitzingera a kol. (2013, cit. v Brázdil, Trnka a kol. 2015) nejspíše jedním z nejvýznamnějších problémů na našem území, které vyvolá změna klimatu způsobená člověkem.

Sucho je podporováno, nebo dokonce vytvářeno využíváním většího množství vody, než je příroda schopná doplnit, a to například nadměrným využíváním vody či nevhodným hospodařením (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Vhodným příkladem ze světa může být Aralské jezero, o jehož problematice píše například White (2013) nebo Lee, Jung (2018). Došlo u něj k několikanásobnému snížení rozlohy i objemu, a to především právě nadměrným využíváním vody a nevhodným hospodařením. Tallaksen a Van Lanen (2004) tvrdí, že voda je obecně nejvíce vyžadována v průmyslových oblastech a při intenzivním zavlažování. Podle Evropské agentury pro životní prostředí (2009) se však v Evropě 44 % odebrané vody využívá pro energetiku, 24 % v zemědělství, 21 % na veřejné dodávky vody a pouze 11 % v průmyslu. 81 % celkově odebrané vody v Evropě pochází z povrchových vod a zbylých 19 % z vod podzemních

(Evropská agentura pro životní prostředí 2009). Odběr podzemní vody však snižuje její hladinu a tím může zhoršovat již existující podzemní sucho. Snižuje se tím také možnost nadlepšení průtoku podzemní vodou (Tallaksen, Van Lanen 2004).

Podle IPCC (2018) (Intergovernmental Panel on Climate Change) se globální průměrná teplota vzduchu zvýšila o 1,5 °C nad úroveň před industrializací a v Česku byl podle Vlnase a kol. (2010) za období 1975–2005 naměřen nárůst průměrné denní teploty o 1 °C. S rostoucí teplotou vzduchu poté roste evapotranspirace, která značně ovlivňuje vznik sucha (Němec, Kopp a kol. 2009). Daňhelka a kol. (2019) dále uvádí, že teplý vzduch je schopen absorbovat větší množství vodní páry, a tím dochází k prohlubování nedostatku vody v krajině. Změny v teplotě vzduchu však nejsou rovnoměrně rozmístěné a v některých částech světa dokonce dochází k mírnému snižování průměrné teploty vzduchu. To má za následek narušení rovnováhy fyzických a chemických procesů v atmosféře a hydrosféře (Němec, Kopp a kol. 2009).

Výrazný vliv na sucho má také výstavba přehrad, která významně mění odtok pod přehradou a také ovlivňuje vznik sucha, jeho intenzitu a četnost. Obecný vliv přehrad na odtok či sucho však neexistuje, protože je značné množství typů přehrad s odlišnými regionálními a klimatickými podmínkami a s rozdílnými počátečními podmínkami v povodí. Přestože existují významné nedávné výzkumy týkající se dopadů přehrad, většinou existují jednotlivé případové studie a existuje jen málo syntéz, které analyzují vliv přehrad obecně v různých regionech, klimatických zónách nebo typech přehrad (Magillan, Nislow 2005). Vlnas a kol. (2010) zmiňují možnost manipulace na vodních nádržích, která se v případě sucha může projevit nadlepšením průtoku.

Sucho může být ovlivňováno také změnou krajiny. Ta může ovlivňovat například evapotranspiraci, infiltraci, retenci, intercepci, povrchový odtok, hladinu podzemní vody či regionální klima. Přirozená vegetace, především pak les, má příznivější vlastnosti pro zvýšení retenční schopnosti krajiny a tím pádem i pro udržení vyrovnaného odtoku vody z povodí. Důležité jsou také například kořeny stromů a spodní rostlinné patro, které zvyšuje drsnost povrchu půdy, a tak zvyšují jeho retenční schopnost (Chábera, Kössl 1999). Postupným odlesňováním tedy krajina ztrácí svou schopnost potýkat se se suchem. Na našem území proběhly v posledních staletích výrazné změny ve využití krajiny především díky modernizaci společnosti a změně územní struktury. Největší změna ve struktuře byla zaznamenána při nárůstu urbanizovaných ploch, které značně ovlivňují množství vody v krajině a rychlost odtoku. Navíc je v urbanizovaných oblastech nadměrně vysoká spotřeba vody. Velkou změnu v krajině způsobilo také odvodňování zamokřených pozemků pro získání nové orné půdy či

plach k zástavbě (Brázdil, Trnka a kol. 2015), ale to však negativně ovlivňuje retenční schopnost krajiny (Trnka 2010). Nejvíce odolná proti suchu jsou právě zamokřená povodí, které akumulují vodu v mokřadech, bažinách, jezerech či zvodních (Estrela a kol. 2001). Výrazně se také snížila rozloha původních lužních lesů (Brázdil, Trnka a kol. 2015).

4.3 Dopady

Ačkoli jsou dopady sucha méně nápadné a kvantifikace jeho škod bývá obtížná, podle některých studií jsou odhady ztrát způsobených suchem vyšší než u jiných přírodních neštěstí (Wilhite 2000, cit. v Blinka 2002, s. 33). Velikost intenzity sucha roste s dobou jeho trvání, a proto mají dopady sucha kumulativní charakter (Blinka 2002). Následky sucha jsou navíc prohlubovány rostoucí poptávkou po vodě v období sucha (Mishra, Singh 2010). Sucho se vyvíjí postupně a jeho projevy a dopady se objevují s jistým zpožděním. Dopady meteorologického sucha se nejdříve projevují jako nedostatek půdní vlhkosti, poté dochází ke snížení průtoků v tocích a následují poklesy stavu podzemních vod. Ve stejném pořadí sucho odeznívá (Daňhelka a kol. 2015). V poslední řadě se objevují důsledky ekonomické, environmentální a sociální.

Do stejných kategorií dělí dopady sucha Trnka (2010), tedy na dopady ekonomické, environmentální a sociální. Ekonomické dopady dále rozděluje na přímé a nepřímé. Přímý ekonomický důsledek je samotná ztráta výnosu, případně může znamenat i zadlužení. Nepřímý ekonomický dopad nastane, pokud chtějí podnikatelé postihnout přímým ekonomickým důsledkem s touto situací pomoci a požadují úhradu ztrát po pojišťovnách nebo po státu. Kvůli ekonomickým dopadům může vrůst nezaměstnanost a ztráta příjmů jak pro místní komunity, tak pro státní rozpočet. Environmentální dopady sucha zásadně ohrožují biodiverzitu, zhoršují kvalitu vody, vlastnosti stanovišť a jsou příčinou lesních požárů, degradace krajiny a půdní eroze. Zkoumání sociálních dopadů sucha se zaměřuje na veřejnou bezpečnost, ochranu zdraví, možné konflikty o vodní zdroje, nespravedlnost při rozdělování dopadů a ztrát způsobených suchem (Trnka 2010). Nejzávažnější sociální důsledky sucha se vyskytují v aridních nebo semiaridních oblastech, kde je dostupnost vody již za normálních podmínek nízká (Tallaksen, Van Lanen 2004).

Prvním ekonomickým sektorem postiženým suchem je obvykle zemědělství (Trnka 2010). To je způsobeno velkou zranitelností tohoto hospodářského odvětví, protože voda je jednou ze základních a nenahraditelných podmínek pro růst rostlin. Pro zemědělství je důležitým faktorem především půdní vlhkost, protože z ní rostliny přijímají vodu. V oblastech relativně dobře zásobených vodou snižuje sucho výnosy v průměru až o 10–15 %. Pro

minimalizaci dopadů a ekonomických ztrát je potřeba detailnější pochopení problematiky agronomického sucha, což je téměř nemožné, protože kvůli odlišnostem přírodních podmínek, rozdílným reakcím nebo požadavkům pěstovaných rostlin a odlišnému způsobu hospodaření nelze vytvořit jednotné definice zemědělského sucha. Sucho ovlivňuje zemědělství zhoršením podmínek při zakládání porostů, zvýšením nákladů na vodu pro závlahy, snížením výnosů či zhoršením kvality produkovaného zboží. Sucho také působí na degradaci půdy, zejména na dehumifikaci a větrnou erozi, kterou sucho umožňuje. Větrná eroze je nejzávažnější forma degradace půdy, která ohrožuje v Česku 18 % půd a ochuzuje půdu o velmi cennou ornici. Dochází ke šterkovitosti půdy, ztrátě živin, humusu, osiv, sadby a poškození pěstovaných plodin. Půdu a její úrodnost může značně poškodit i vodní eroze způsobená přívalovými dešti po období sucha. Sucho také výrazně ovlivňuje lesnictví, konkrétně působí negativně na růst stromů, omezuje tvorbu pupenů, ze kterých následně vznikají výhonky, a snižuje počet dřevinných druhů (Brázdil, Trnka a kol. 2015).

Značné dopady sucha jsou znatelné i v hydrologii, kdy během období sucha dochází k poklesu průtoků či k úplnému vyschnutí toku. Závažnost dopadů hydrologického sucha poté závisí především na srážkách, geomorfologických, geologických, pedologických a vegetačních poměrech (Vlnas a kol. 2010). Jedním z nejvýznamnějších dopadů menšího průtoku je zhoršená kvalita vody, která je způsobena jak samotným znečišťováním vody, tak větší koncentrací znečišťujících látek ve vodě a nemožnosti ředit odtok větším objemem vody. Poškozená voda poté ovlivňuje ekologické podmínky toku, možnost jejího využití jako pitnou vodu, odběry vody pro průmysl, energetiku, zemědělství a rekreaci (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Příkladem je výrazné snížení vodní hladiny v nádrži Opatovice v roce 2017, u které klesl celkový objem z přibližně 9 mil. m³ na zhruba 300 000 m³. Byly zde znatelné změny v chemismu i biologii nádrže, došlo ke zhoršení kyslíkového režimu, zvýšení koncentrace některých látek, jako je například mangan, železo nebo amoniak, a tvorbě vodního květu v letním období. Značně problematický je rozvoj biomasy sinic rodu *Microcystis* a nárůst koncentrace chlorofylu A. Při snížení vodní hladiny došlo také k téměř kompletnímu vyčerpání dusičnanů. Všechny tyto změny mohou vést až ke změně trofického statusu nádrže (Geriš, Kosour 2018). Nedostatek vody a její znečištění negativně působí také na ekosystémy, kde je každý organismus adaptován na své podmínky a ty se v období sucha výrazně mění. Znečištění vody způsobené suchem tedy může výrazně ovlivnit počet jedinců daného druhu nebo samotnou biodiverzitu. Mezi dopady hydrologického sucha dále patří zhoršené zásobování obyvatelstva pitnou vodou, jak kvůli nedostatku, tak kvůli zhoršené kvalitě vody, snížení dodávek vody a nemožnost jejich odběrů potřebné jakosti pro průmysl a energetiku. V energetice mohou kvůli hydrologickému suchu

nastat komplikace při chlazení tepelných elektráren nebo může dojít k zastavení vodních elektráren, které nemohou při malých průtocích fungovat. Hydrologické sucho dále ovlivňuje rybolov, zvyšuje nebezpečí vzniku požáru a má negativní vliv na rekreaci (Brázdil, Trnka a kol. 2015).

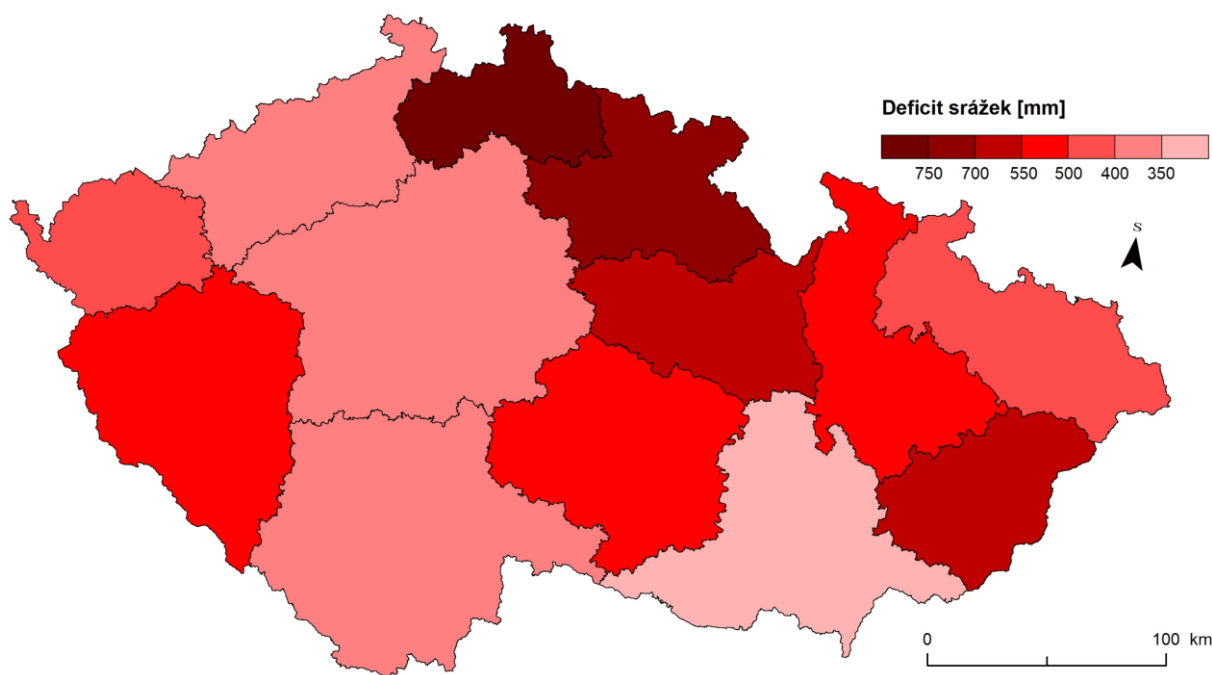
Sucho také může vyvolávat další přírodní katastrofy jako je zemětřesení nebo výbuch sopky (Mishra, Singh 2010). Pražské vodovody a kanalizace (2019) zmiňují také možnost popraskání potrubí způsobené suchem, což zhoršuje dodávku vody běžným uživatelům nebo zdravotním či sociálním zařízením.

5 Hydrologické sucho v letech 2014–2018 v Česku

V Česku se sucho vyskytuje minimálně od roku 2014 do roku 2018. Jeho počátky však lze nalézt už v červenci roku 2013, kdy po povodni téhož roku došlo k rychlému poklesu zásob vody. Poté v následující zimě, tedy zimě roku 2014, nedošlo díky nedostatku srážek k dostatečné akumulaci sněhové pokrývky, která by doplnila zásoby podzemích vod na jaře. Na jaře 2014 tedy došlo k rekordním průtokovým minimům pro tuto část roku a tím započalo suché období. Další zimy byly opět poměrně mírné, a přestože byly některé měsíce na srážky poměrně bohaté, nedocházelo v následujících letech k dostatečnému doplnění zásob podzemní vody. Především v nižších a středních polohách nedocházelo k vytvoření dostatečné sněhové pokrývky a jejímu přetrvání do vhodné doby tání, která trvá od druhé poloviny února do začátku března. To mělo poté za následek dřívější vrchol stavu hladiny podzemních vod (Čekal 2018).

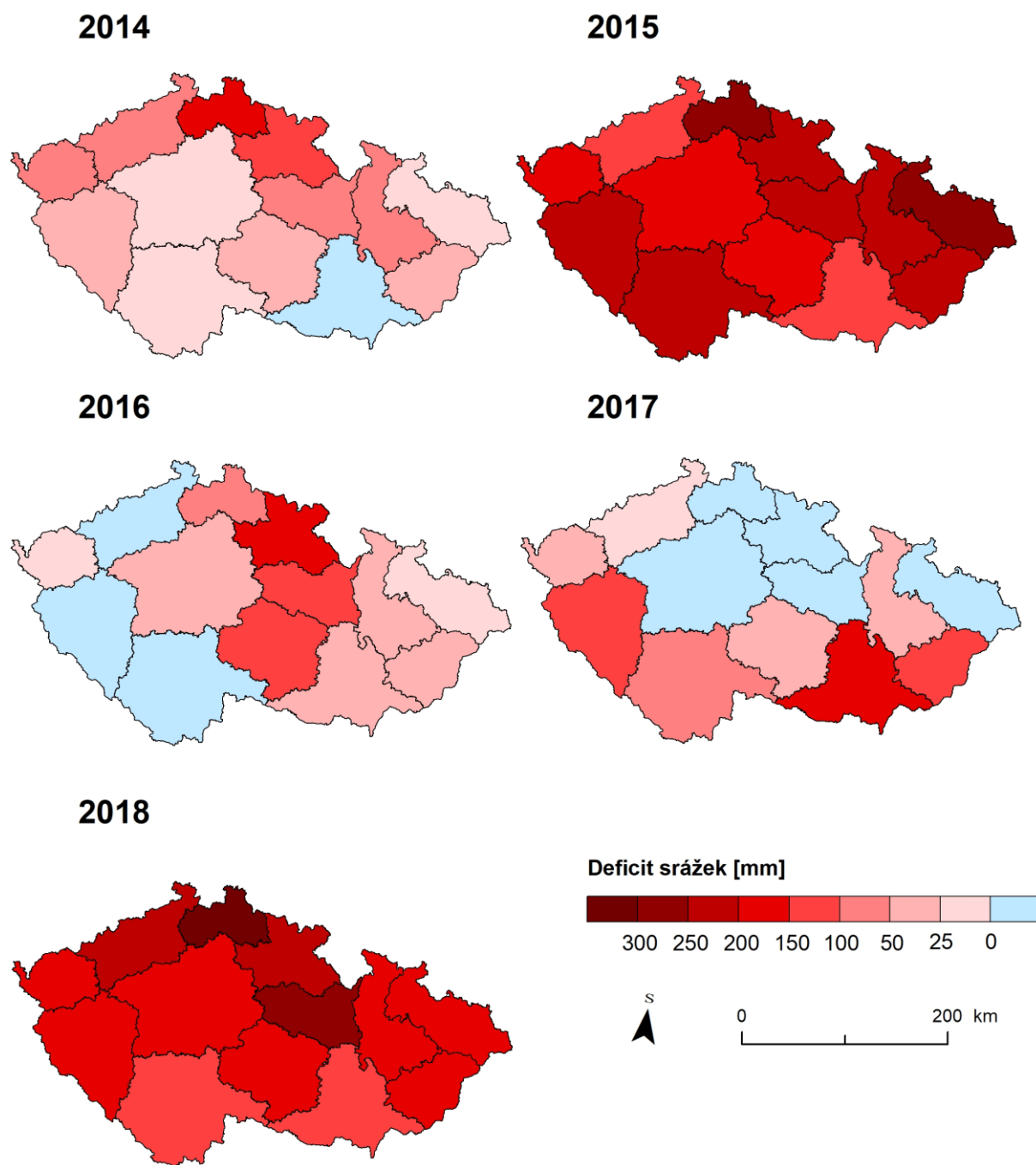
Sucho v období 2014 až 2018 v Česku má velmi značný efekt dlouhodobé kumulace srážkového deficitu, který se projevuje odlišným vývojem, než je u běžného jednoletého sucha. U něj dochází nejdříve k suchu meteorologickému, a poté s určitým odstupem dochází k suchu půdnímu a hydrologickému. Ve sledovaném období 2014 až 2018 je však pozorovatelný souběžný výskyt všech typů sucha, protože hydrologické sucho trvá nepřetržitě minimálně od roku 2015 (Čekal 2018).

Hlavní příčinou sucha na našem území je deficit srážek. Jeho průměrná hodnota byla ve sledovaném období v Česku 350 mm (Čekal 2018). Podle ČHMÚ (2018) jde o 68 % průměrného ročního úhrnu srážek. Plošné rozložení srážkového deficitu je zobrazeno na obrázku č. 7, na kterém je vidět, že nejhůře si ve sledovaném období vedl Liberecký kraj a nejnižší deficity byly zaznamenány v kraji Jihomoravském.



Obrázek č. 7: Plošný deficit srážek pro území krajů Česka za období hydrologických roků 2014 až 2018 (zdroj: databáze ArcČR, ČHMÚ 2018, upraveno)

Intenzita sucha byla však odlišná jak v prostoru, tak v čase. Rok 2014 byl zajímavý tím, že byly zaznamenány největší regionální rozdíly za sledované období. V Libereckém kraji byl zaznamenán srážkový deficit 157 mm od dlouhodobého normálu, a naopak v kraji Jihomoravském byl naměřen mírný nárůst srážek o 32 mm od dlouhodobého normálu. U dlouhodobého normálu či průměru je uvažováno období 1981 až 2010. V roce 2015 byl deficit srážek zaznamenán ve všech krajích Česka, kdy největší byl v kraji Moravskoslezském a Libereckém. V roce 2016 se v Česku opět vyskytovaly značné regionální rozdíly. V Pardubickém kraji byl naměřen deficit 139 mm a v Jihočeském kraji spadlo o 25 mm srážek více než je dlouhodobý průměr. Rok 2017 byl na srážky poměrně bohatší. Nevyskytovaly se zde tak výrazné deficity a k nárůstu srážek od dlouhodobého průměru došlo dokonce v pěti krajích. V roce 2018, jakožto v jednom z vrcholných roků, byl výrazně nejvyšší deficit v Libereckém kraji a poté v kraji Pardubickém. Deficit srážek se však vyskytoval ve všech krajích Česka. Celkově nejnižší úhrn srážek byl zaznamenán v hydrologických letech 2015 a 2018. V letech 2016 a 2017 spadlo relativně více srážek, přibližně 96 % průměrného ročního úhrnu srážek (ČHMÚ 2018). Grafické znázornění plošného deficitu pro území krajů Česka za jednotlivé hydrologické roky sledovaného období je zobrazeno na obrázku č. 8.



Obrázek č. 8: Plošný deficit srážek pro území krajů Česka za jednotlivé hydrologické roky 2014, 2015, 2016, 2017 a 2018 (zdroj: databáze ArcČR, ČHMÚ 2018, upraveno)

Pokud by se nevyhodnocovaly deficity srážek za dané období po krajích, ale po povodích, nejhůře by na tom byla povodí v severní části Česka. Příkladem je povodí Lužické Nisy s deficitem 778 mm nebo povodí samotné Odry s deficitem 500 mm od dlouhodobého normálu. Relativně menší deficity srážek se nacházely na jihu Česka. Například povodí Vltavy mělo deficit 418 mm (ČHMÚ 2018).

Jak již bylo zmíněno, vrcholy sucha v období 2014 až 2018 se nacházely v letech 2015 a 2018. Proto budou tyto roky v následujících kapitolách zpracovány podrobněji.

5.1 Hydrologické sucho v roce 2015 v Česku

Přestože je díky složitosti jevu sucha velmi obtížné jej vyhodnotit jedním kritériem, je pravděpodobné, že sucho v roce 2015 lze srovnávat s významnými historickými suchými epizodami z let 1947 a 2003. Se suchým obdobím z roku 2003 má sucho v roce 2015 nejpodobnější průběh, protože ani v jednom zmíněném roce nedošlo k výraznější odtokové události. Suché období z roku 1947 se se suchem v roce 2015 podobá výskytem extrémní teploty a vlny veder od června do září. Co se týče deficitu povrchových vod v povodí Labe, Vltavy a Odry je rok 2015 nejspíše nejhorším rokem do té doby vůbec (Daňhelka a kol. 2015).

5.1.1 Podmínky vzniku hydrologického sucha v roce 2015 v Česku

Základní podmínkou vzniku sucha je podnormální množství srážek na daném území. V roce 2015 byly srážky výrazně pod hodnotou dlouhodobého normálu a na některých místech byly dokonce nižší než 60 % dlouhodobého průměru, a to výrazně podporovalo vznik hydrologického sucha. Za rok 2015 spadlo na území Česka v průměru 532 mm srážek, což odpovídá 78 % dlouhodobého normálu. To odpovídá druhému nejnižšímu úhrnu srážek po roce 2003 z období od roku 1961 do roku 2015. Za vegetační období roku 2015 spadlo na území Česka v průměru 272 mm srážek, což je dokonce do té doby nejméně od roku 1961. Srážkově podprůměrný byl především měsíc červenec, kdy téměř ve všech krajích spadlo méně než 50 % z dlouhodobého normálu (Daňhelka a kol. 2015).

Velmi důležité jsou také podmínky v krajině a půdě před vznikem sucha, a proto je podstatné vzít v úvahu i rok předešlý, tedy rok 2014. Jak je vidět na obrázku č. 8, již v tomto roce se na území Česka vyskytovaly významné srážkové deficity. Ty se však nacházely především v první části roku a v září se už situace značně zlepšovala a srážky byly dokonce nadnormální. V říjnu byly srážkové úhrny normální, ale listopad již patřil mezi srážkově silně podnormální měsíce. Srážkové úhrny v prosinci a v lednu byly sice normální, ale díky nadnormálním teplotám nedošlo k vytvoření dostatečné sněhové pokrývky. Sníh se vyskytoval pouze ve vyšších nadmořských výškách a výrazně odtál již v lednu. Deficit na konci zimy a na začátku jara byl způsoben přítomností tlakových výší nad větší částí euroatlantické oblasti. Došlo tedy k absenci tlakových níží a s nimi spojených front. V květnu a v červnu poté nastalo období s převládajícím vlhkým západním prouděním, které nadlepšilo srážkový deficit. Na začátku léta rozložení tlakových útvarů a rozsáhlé tlakové výše přispívali k tomu, že se do Česka nedostával dostatečně vlhký vzduch z oceánu a moří. To bránilo tvorbě bouřek, což je v létě převažující zdroj srážek. Suchá krajina společně se stabilním zvrstvením atmosféry nepřispívala ani k tvorbě bouřek z tepla neboli předfrontálních bouřek, které jsou dalším

zdrojem srážek v létě. Sucho dosahovalo čím dál vyšších deficitů až do poloviny srpna, protože pak se objevily velmi vydatné srážky, které výrazně zlepšily situaci v krajině. Nebyly však dostatečné, aby doplnily průtoky a hladiny podzemních vod, a tedy aby ukončily sucho. V září se situace opět začala zhoršovat a na začátku října dosahoval deficit již 180 mm. V půlce října poté nastalo nadprůměrné srážkové období, což vylepšilo srážkovou situaci a situaci na vodních tocích, ale nesnížilo celkový deficit. Výrazné srážky poté byly i ve druhé polovině listopadu, ale deficit srážek na konci roku v Česku zůstal na hodnotě 180 mm (Daňhelka a kol. 2015).

Nízká vlhkost vzduchu, která se v létě vyskytovala na našem území, spolu s nižší oblačností také podporují evapotranspiraci, a tedy prohlubují nedostatek vody v krajině. Přítomný suchý vzduch byl také schopen absorbovat větší množství páry. Evapotranspiraci podporuje i vyšší teplota (Daňhelka a kol. 2015).

Průměrná teplota vzduchu za rok 2015 na našem území činila 9,4 °C, což je o 1,5 °C více, než je dlouhodobá průměrná teplota. Průměrná teplota vzduchu ve vegetačním období byla s hodnotou 15,2 °C o 1,1 °C vyšší, než je dlouhodobý normál. Průměrná teplota letních měsíců v roce 2015 byla 19,2 °C a šlo o druhé nejteplejší letní období od roku 1961 do té doby. Červen byl teplotně poměrně normální, ale poté následoval velmi teplý červenec s průměrnou měsíční teplotou 20,2 °C, což je asi o 2,4 °C nad dlouhodobým normálem a srpen s průměrnou teplotou 21,3 °C, která je o 4,0 °C vyšší než normál. Srpen roku 2015 byl nejteplejším srpnem od roku 1961 do roku 2015 v Česku. Výskyt nadprůměrných teplot dokazuje i počet tropických dní a nocí. Tropický den je den s maximální teplotou větší nebo rovnou než 30 °C a tropická noc je den s minimální teplotou větší nebo rovnou 20 °C. V červenci bylo na některých stanicích zaznamenáno až 18 tropických dní a 11 tropických nocí. V srpnu bylo na některých stanicích zaznamenáno až 20 tropických dní a 15 tropických nocí. V letním období sucho značně podporovaly i horké vlny, které se na našem území vyskytly čtyřikrát a jejich maximální teplota dosahovala až 40,0 °C (Daňhelka a kol. 2015).

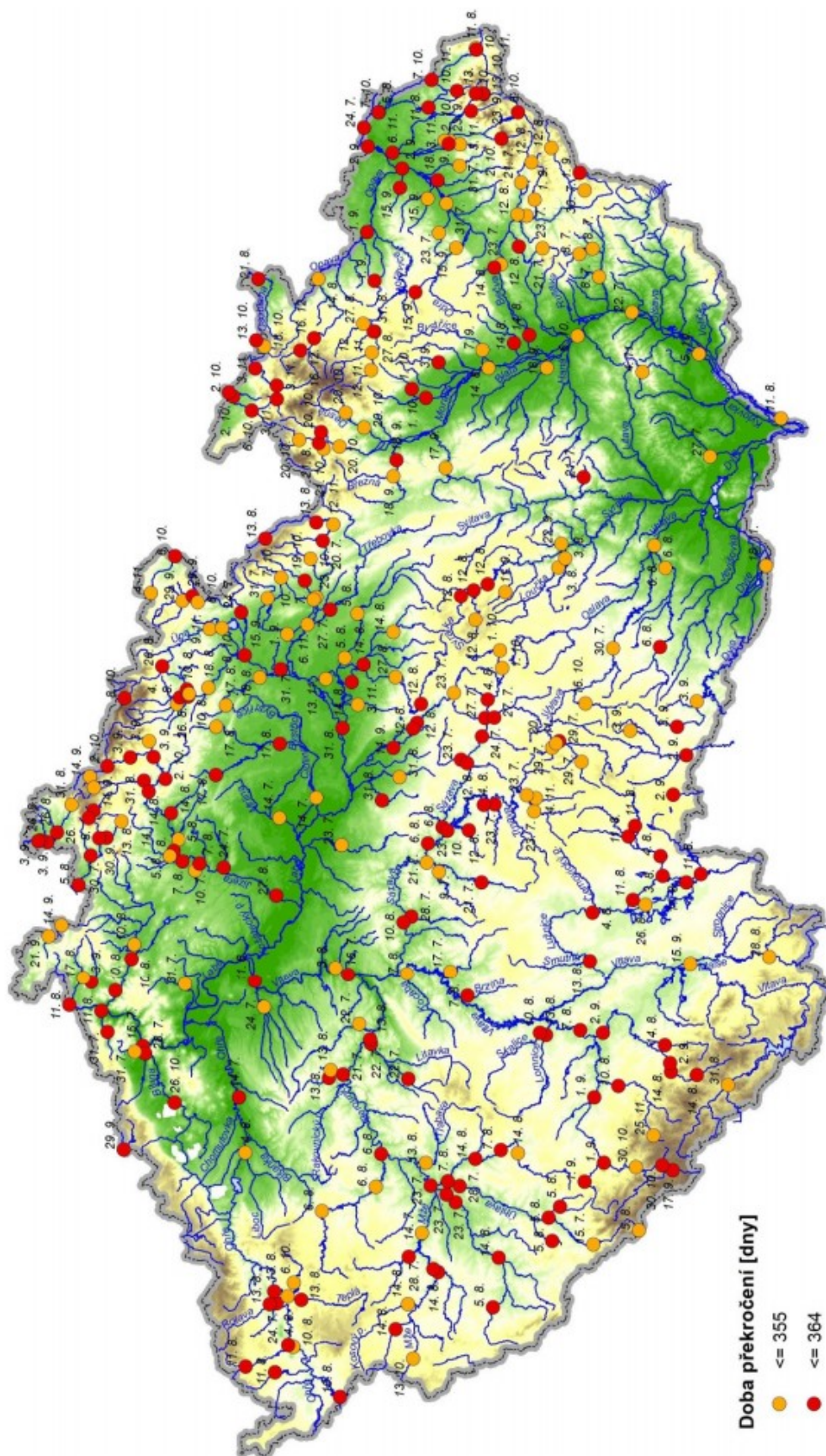
5.1.2 Vyhodnocení hydrologického sucha v roce 2015 v Česku

Hydrologické sucho v roce 2015 bylo velmi významné a postihlo celé území Česka. Hodnotit však extremitu sucha pro celé území Česka je poměrně složité, protože záleží na klimatických a fyzickogeografických poměrech a na míře antropogenního ovlivnění, které jsou pro každé území více či méně odlišné. V tomto případě byly k hodnocení hydrologického sucha využity hodnoty průtoků Q_{355d} a Q_{364d} pro daný tok. Jedná se o průtok, který je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen po 355 dní, respektive 364 dní v roce. Průtoky byly také porovnávány

s dlouhodobým průměrným průtokem Q_a (Daňhelka a kol. 2015). Stejné hodnocení bylo dále použito i pro rok 2018.

Vodnost na našem území v roce 2015 ovlivnil především deficit srážek, který se projevil již v zimě, kdy byly zásoby sněhu podprůměrné, a to především v nižších a středních polohách. Většina zásob pak roztála již v lednu během výrazného oteplování a vydatných srážek. Tání na začátku jara poté nevyvolalo významné zvětšení průtoků, protože sníh ležel pouze v horských polohách a odtával postupně. Od začátku května pak docházelo k poklesům hladin vodních toků, které byly občas přerušeny většinou nepříliš velkými srážkami. K samotnému hydrologickému suchu došlo v roce 2015 zhruba na přelomu června a července, kdy průtoky dosahovaly hodnot Q_{355d} a nižších. Tento deficit byl způsoben především nedostatkem srážek, který byl však později významně doprovázen tropickými teplotami vzduchu. Ty poté vedly k vyššímu výparu, a tedy prohlubovaly sucho a docházelo ke snižování hladin vodních nádrží i samotných vodních toků. Na některých tocích průtoky klesly až pod hodnotu Q_{364d} , což značí velmi významné suché období. Toto suché a teplé období trvalo až do poloviny srpna, kdy bylo sucho přerušeno vydatnými srážkami na většině území. Přestože srážky na některých místech dosahovaly hodnot více než 100 mm za tři dny, nevyvolaly příliš významné zvýšení hladin vodních toků. Většina srážkové vody se totiž vsákla do půdy anebo se vypařila. Současně s deštěmi v druhé polovině srpna došlo i k ochlazení, které však bylo jen přechodné a poté došlo opět ke zvýšení teplot vzduchu k tropickým hodnotám a stav sucha se na většině území Česka vrátil. V říjnu poté došlo ke dvěma významným epizodám srážek, které na většině území Česka způsobily zmírnění hydrologického sucha (Daňhelka a kol. 2015).

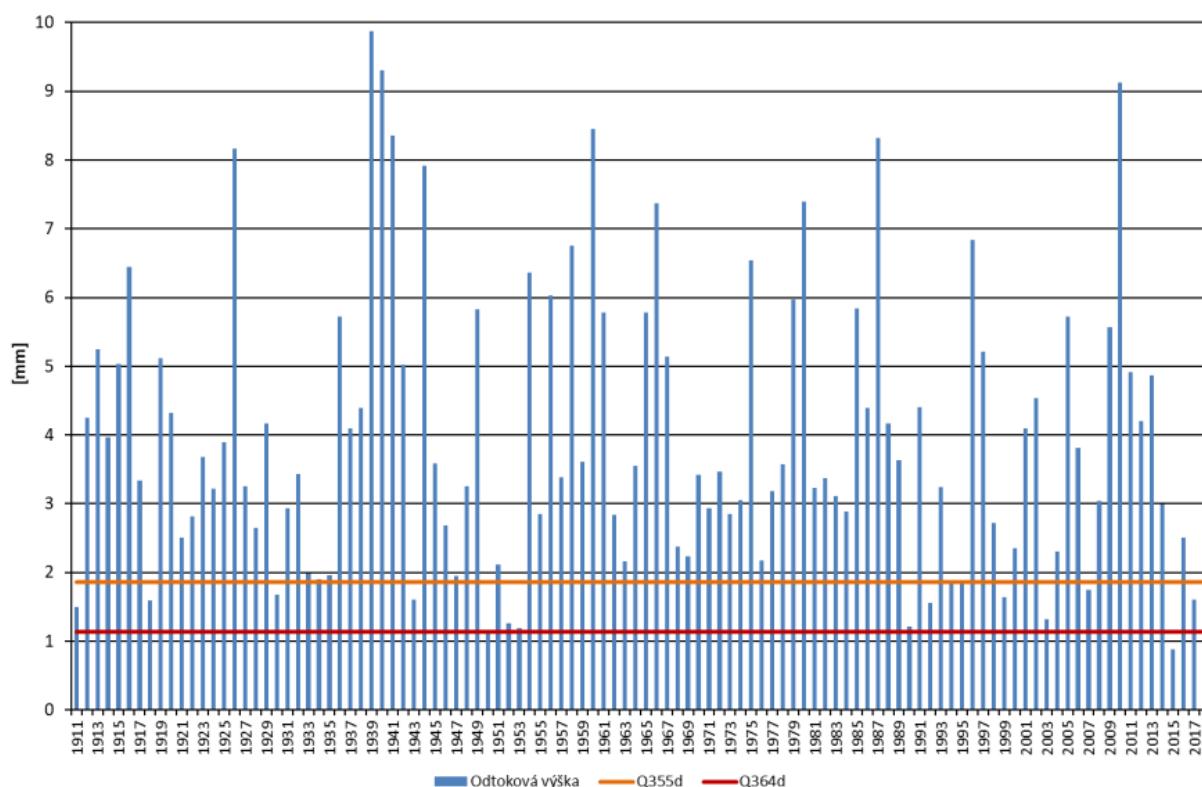
Během července, srpna a září roku 2015 tým z Českého hydrometeorologického ústavu provedl hydrometrické měření na více než 850 místech. Z nich bylo na 258 stanicích naměřen průtok Q_{355d} a nižší a na 160 stanicích průtok Q_{364d} a nižší. Na některých tocích byl dokonce změřen nejmenší průtok od počátku měření a u některých případů došlo i k úplnému vyschnutí toku (Daňhelka a kol. 2015). Na obrázku č. 9 jsou znázorněny výsledky z hydrometrických měření probíhajících od července do konce roku 2015 u kterých byla hodnota průměrného denního průtoky rovna nebo menší než Q_{355d} . Tento obrázek je důkazem toho, že hydrologické sucho zasáhlo prakticky celé území Česka a velký počet suchých dní na některých stanicích dokládá vysokou intenzitu sucha v roce 2015.



Obrázek č. 9: Přehled vodoměrných profilů, ve kterých byl změřen v roce 2015 průtok Q_{355d} a nižší (Daňhelka a kol. 2015)

U hydrologického sucha je také významný vliv člověka, který musí být brán v potaz. Ten totiž může způsobit buď nadlepšování minimálních průtoků, anebo naopak sucho značně prohloubit. Vhodným příkladem je povodí Lužnice. Její hydrologický režim je totiž značně ovlivněn rozsáhlou soustavou rybníků ve svém povodí, především pak v době jejich vypouštění a napouštění. Rybníky v povodí mohou také ovlivňovat hydrologický režim v období sucha zadržováním vody, která se pak v období vysokých teplot vzduchu značně vypařuje z hladiny rybníků. Na rozdíl od toho víceúčelové vodní nádrže s významným zásobním prostorem jako jsou například Lipno, Orlík či Nechanice výrazně nadlepšují minimální průtoky v období sucha (Daňhelka a kol. 2015).

Dalším ukazatelem sucha v Česku v roce 2015 je graf č. 3 vyjadřující míru sucha na Lužnici na profilu Bechyně. Pro tento graf byly zvoleny 30denní minimální průtoky odtokové výšky spočítané pro určité území pro rok 2015 a pro další jednotlivé roky. Jde o souvislé období 30 dnů v roce, ve kterém je dosažen nejmenší odtok. Roky pro tento graf začínaly 1. dubnem a končily 31. březnem následujícího roku. Z grafu č. 3 je zřetelné, že rok 2015 byl do té doby nejnižší 30denní minimální roční odtokovou výškou od roku 1911. Hydrologické sucho v roce 2018 však svojí extremitou rok 2015 překonalo (Daňhelka a kol. 2015).



Graf č. 3: 30denní minimální roční odtokové výšky na Lužnici na profilu Bechyně (zdroj: Daňhelka a kol. 2019)

U hodnocení sucha na podzemních vodách je v roce 2015 patrný deficit v mělkých zvodních již v jarních měsících. Nejnižší hladina v mělkých vrtech byla ve 33. týdnu, tedy v polovině srpna, což se shoduje i s deficitem srážek a povrchových vod. V té době vykazovalo sucho 59 % mělkých vrtů, a tento stav v mělkých zvodních přetrval víceméně až do října. Tím se průběh sucha na podzemních vodách liší od půdního sucha a sucha na povrchových vodách. Průtoky a půdní vláha byly totiž v druhé polovině srpna doplněny vodou z vydatných srážek. Vydatnost pramenů byla nejnižší na konci září. V oblasti mělkých a hlubších zvodní byla nejvíce podzemním suchem ovlivněna oblast severovýchodních Čech a severovýchodní Moravy, tedy oblast povodí horního a středního Labe a povodí Odry. U nejhlubších zvodní je patrný pokles až s nástupem léta. Co se týče celkového hodnocení podzemních vod roku 2015, lze tento rok zařadit mezi velmi suché, v celkovém ročním hodnocení však nebyl nejsušší (Daňhelka a kol. 2015).

Přestože bylo hydrologické sucho v roce 2015 na našem území velmi významné, socioekonomické následky nedosahovaly příliš vysokých hodnot. Následky byly totiž značně zmírněny rozvinutou infrastrukturou vodního hospodářství, jako například vodními nádržemi či vodovody. Například vodní nádrže s významným zásobním prostorem v období sucha přispěly ke zmírnění hydrologického sucha nadlepením minimálních průtoků. Díky tomu nedocházelo ke krizovým dopadům jako je významné přerušení dodávek vody domácnostem. Některé sektory však byly suchem významně postiženy, jako některé zemědělské činnosti či hydroenergetika. Dalšími dopady sucha bylo například zvýšené nebezpečí vzniku požáru a posun nástupu vegetačních fází rostlin (Daňhelka a kol. 2015).

5.2 Hydrologické sucho v roce 2018 v Česku

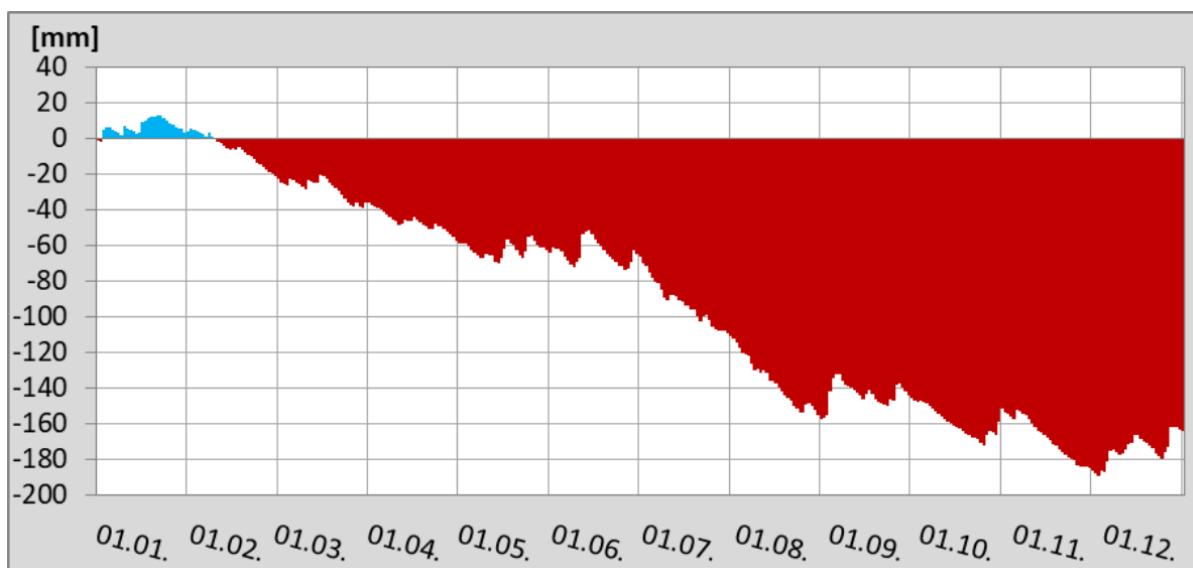
Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.3, sucho se vyvíjí postupně a jeho projevy a dopady se objevují s jistým zpožděním. Dopady meteorologického sucha se nejdříve projevují jako nedostatek půdní vlhkosti, poté dochází ke snížení průtoků v tocích a následují poklesy stavu podzemních vod. Ve stejném pořadí následně stav sucha odeznívá (Daňhelka a kol. 2015). Proto i při výskytu normálních či nadnormálních srážek může stav sucha v některých formách přetrvávat. Přesně tato situace nastala v roce 2018, kdy hydrologické sucho přetrvávalo již z předchozího období 2015 až 2017. Z toho důvodu byl nástup projevů sucha identický s meteorologickým suchem (Daňhelka a kol. 2019).

5.2.1 Podmínky vzniku hydrologického sucha v roce 2018 v Česku

Pro rok 2018 byl průběh počasí a jeho synoptické příčiny značně shodné s rokem 2015. Charakteristické byly cirkulační podmínky znemožňující četnější postup frontálních systémů z oceánu či moří do střední Evropy a tím byly znemožněny vydatnější srážky. Frontální systémy, které se na naše území dostaly už neměly dostatečnou vlhkost pro tvorbu bouřek, které jsou v létě hlavním zdrojem srážkové vody. Stejně jako v roce 2015 nebyly vhodné podmínky ani pro vznik bouřek z tepla. Tyto podmínky pak způsobily jak v roce 2015 tak v roce 2018 nedostatek srážek v celé Evropě (Daňhelka a kol. 2019).

Roční srážkový úhrn v Česku za rok 2018 činil pouhých 76 % dlouhodobého normálu, tedy 522 mm a šlo o druhý nejnižší úhrn srážek od roku 1961 po roce 2003. Celkový deficit byl asi 190 mm, což je o 10 mm více než v roce 2015. V období od ledna do listopadu 2018 došlo dokonce k vůbec nejvyššímu zaznamenanému deficitu od roku 1961. Za vegetační období v Česku v roce 2018 spadlo v průměru 303 mm srážek, což je 73 % dlouhodobého normálu. V roce 2015 spadlo za vegetační období 272 mm srážek (Daňhelka a kol. 2019).

Zimní období od prosince 2017 do března 2018 bylo srážkově značně podnormální, přestože byl leden srážkově nadnormálním měsícem. Největší deficity srážek byly zaznamenány v březnu, který měl srážkový úhrn menší než 50 % dlouhodobého normálu. Na začátku dubna pak začalo suché období s podnormálními srážkami a nadnormální teplotou vzduchu trvající až do konce října. Deficit narůstal nejvíce v červenci a v srpnu. Koncem června byl deficit 70 mm a koncem srpna již 160 mm. V září pak nedošlo k výraznému nárůstu deficitu. Během října a listopadu se deficit opět prohluboval a na přelomu listopadu a prosince dosáhl svého maxima 190 mm. V listopadu spadlo dokonce pouhých 37 % dlouhodobého normálu (Daňhelka a kol. 2019). Vývoj územního srážkového deficitu je zobrazen na grafu č. 4.



Graf č. 4: Vývoj územního srážkového deficitu, spočteného z průměrných denních úhrnů srážek v Česku v období od 1. 1. 2018 do 31. 12. 2018 (zdroj: Daňhelka a kol. 2019)

Stejně jako v roce 2015, byla velmi významná hodnota evapotranspirace, která byla způsobena nízkou relativní vlhkostí a malou oblačností v letním období. Přítomný teplý vzduch byl pak schopen absorbovat větší množství páry a tím docházelo k prohlubování sucha v krajině (Daňhelka a kol. 2019).

Průměrná roční teplota vzduchu v Česku v roce 2018 byla 9,6 °C, tedy o 1,7 °C vyšší, než je dlouhodobý normál. Tato hodnota byla nejvyšší naměřenou od roku 1961. U většiny měsíců byla hodnota průměrné teploty vyšší, než je normál a záporná odchylka byla zaznamenána pouze v únoru a březnu. Všechny ostatní měsíce, kromě listopadu, pak byly hodnoceny jako teplotně nadnormální až mimořádně nadnormální. U letních měsíců byla průměrná teplota za rok 2018 v Česku s hodnotou 19,3 °C vyšší o 2,3 °C než dlouhodobý normál a spolu s létem 2003 jde o nejteplejší období od roku 1961. Rok 2015 na tom byl podobně s teplotou 19,2 °C. Výrazně teplejší letní období je doloženo i vysokým počtem tropických dnů, kterých bylo na některých stanicích naměřeno až 51. Jde o největší počet tropických dní naměřených od roku 1961. Tropická noc byla zaznamenána na území Česka během července a srpna ve více než 20 dnech. Značný efekt na nedostatek vody v krajině měly i horké vlny, které způsobovaly vysoký výpar. V roce 2018 se na našem území objevily čtyři horké vlny s maximální teplotou až 38 °C (Daňhelka a kol. 2019).

5.2.2 Vyhodnocení hydrologického sucha v roce 2018 v Česku

Značný vliv na hydrologické sucho v roce 2018 měl kromě nedostatku srážek i velký výpar způsobený vysokými teplotami, vlnami veder a velkým počtem tropických dní. Podle tabulky č. 1 bylo hydrologické sucho 2018 na většině uvedených profilů významnější než v roce 2015. Hydrologickým suchem v roce 2018 bylo nejméně postiženo povodí Odry. Méně bylo zasaženo i povodí Lužnice (Daňhelka a kol. 2019).

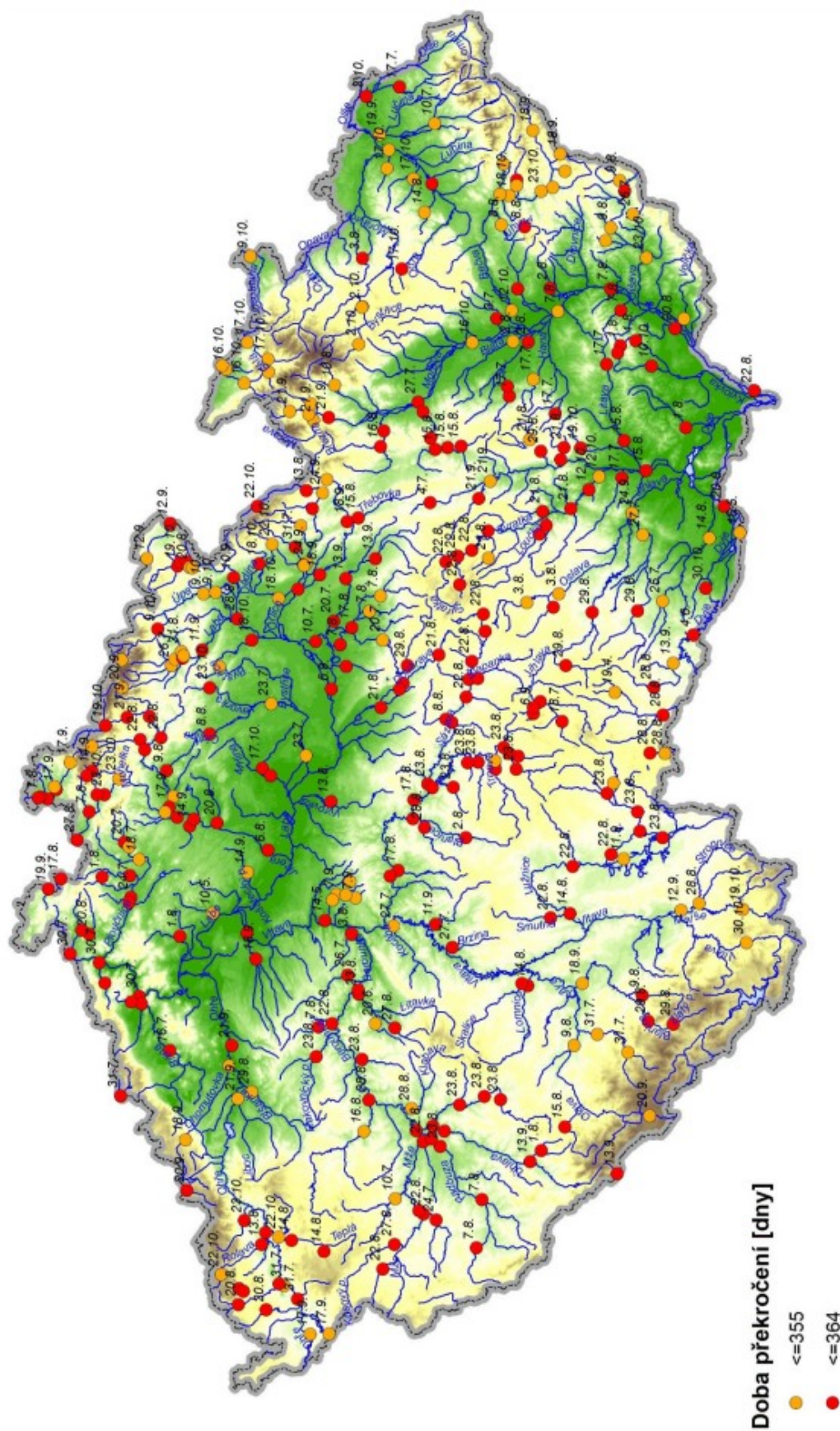
Tabulka č. 1: Vybrané profily s počtem dní dosažení nebo překročení Q_{355d} nebo Q_{364d} za hydrologické roky 2015 a 2018 (zdroj: Daňhelka a kol. 2019, upraveno)

Tok	Profil	Plocha povodí [km ²]	Počet dnů s Q_{355d} a menším		Počet dnů s Q_{364d} a menším	
			rok 2015	rok 2018	rok 2015	rok 2018
Orlice	Týniště nad Orlicí	1 554,20	87	129	55	75
Jizera	Železný Brod	791,3	102	110	65	90
Labe	Kostelec nad Labem	13 183,70	101	139	15	69
Lužnice	Bechyně	4 057,10	70	57	36	34
Blanice	Blanický Mlýn	85,5	60	119	44	68
Sázava	Zruč nad Sázavou	1 420,70	57	113	14	70
Berounka	Beroun	8 286,30	86	92	14	30
Odra	Ostrava-Svinov	1 613,70	75	31	28	10
Olše	Český Těšín	384,6	77	37	40	19
Morava	Strážnice	9 144,80	50	86	0	36

Většina sněhových zásob v roce 2018 roztála v první polovině dubna. Na některých tocích se hydrologické sucho objevilo již v dubnu, ale na některých tocích až v červenci. V květnu a v červnu se totiž především v jižních Čechách vyskytlo několik epizod s významnými srážkami. Hodnoty průtoku pak ovšem klesaly a během července a srpna pak byly průtoky výrazně nižší než Q_{355d} . Průtoková minima se na většině vodních toků vyskytovala v druhé polovině srpna. Na některých vodních tocích především na jihu a jihovýchodě Česka byl na začátku září zaznamenán významný nárůst průtoků díky poměrně významným srážkovým epizodám. Stejně jako v srpnu roku 2015, byly srážky velmi intenzivní a dosahovaly intenzity až 40 mm/h, ale většina srážkové vody se vsákla do půdy nebo se vypařila. Hodnoty pod hranici sucha se objevovaly až do konce října (Daňhelka a kol. 2019).

Stejně jako v roce 2015 v průběhu měsíců července, srpna a září roku 2018 provedl tým Českého hydrometeorologického ústavu 964 hydrometrických měření u kterých bylo v 638 případech naměřen průtok Q_{355d} nebo menší. Na některých stanicích byl naměřen dokonce

nejmenší průtok za dobu pozorování vodoměrných stanic. Na obrázku č. 10 jsou vyznačeny lokality vodoměrných stanic, u kterých byl naměřen nejmenší průtok Q_{355d} a nižší. Je zřetelné, že hydrologické sucho v roce 2018 zasáhlo prakticky celé území Česka a vysoký počet průtoků Q_{364d} a nižší dokazuje značnou významnost tohoto sucha. Při porovnání s obrázkem č. 9 je vidět změna v časoprostorovém rozložení vodoměrných stanic, u kterých byl naměřen nejmenší průtok Q_{355d} a nižší. Například v roce 2015 jsou znatelně nižší deficity v Jihomoravském kraji než v roce 2018. Naopak v roce 2018 jsou nižší deficity v Moravskoslezském kraji než v roce 2015 (Daňhelka a kol. 2019).



Obrázek č. 10: Přehled vodoměrných profilů, ve kterých byl změřen v roce 2018 průtok Q_{355} a nižší (Daňhelka a kol. 2019)

Stejně jako pro rok 2015 byly zvoleny pro vyjádření míry sucha na vodních tocích 30denní minimální odtokové výšky. Jedná se o souvislé období 30 dnů s nejmenším průměrným průtokem. Roky pro tento graf začínaly 1. dubnem a končily 31. březnem následujícího roku. Na grafu č. 3 je znázorněno, že hydrologické sucho v roce 2018 překonalo všechna zaznamenaná suchá období v minulosti (Daňhelka a kol. 2019).

Jak již bylo zmíněno, hydrologické sucho bývá značně ovlivňováno člověkem. A ani v roce 2018 tomu nebylo jinak. Průtoky byly například opět značně ovlivňovány manipulací na velkých vodních nádržích, či vypouštěním rybníků v povodí Lužnice. Z tohoto důvodu je velmi důležité posuzovat hydrologické sucho v kontextu s velikostí zmíněného antropogenního ovlivnění (Daňhelka a kol. 2019).

Na počátku roku byl stav hladiny podzemních vod poměrně příznivý, ale na jaře, v době obvyklých maxim, pak došlo ke snížení jejich stavů. Úrovně hladin v mělkých vrtech a vydatnost pramenů byla mírně až silně podnormální. U pramenů bylo zaznamenáno nejsušší období od července do konce roku a bylo jím nejvíce postiženo povodí horního a středního Labe, dolní Vltavy či Moravy. U mělkých vrtů se pohybovalo nejsušší období od srpna do konce roku. Suchem v mělkých vrtech bylo nejvíce postiženo povodí horního a středního Labe, dolní Vltavy a povodí Dyje. Sucho v hlubokých zvodních se projevilo také již na jaře, konkrétně v dubnu. Nejvíce sucho v hlubokých zvodních postihlo severočeskou a východočeskou křidu, moravský terciér, východočeský karbon či jihočeské pánve. V těchto oblastech trval mimořádně podnormální stav alespoň část roku. Z hlediska mělkých vrtů, pramenů i hlubokých vrtů jde pravděpodobně o nejhorší zaznamenané sucho. V oblasti nejhlubších zvodní se sucho výrazně neprojevilo (Daňhelka a kol. 2019).

Díky vyvinuté infrastruktuře vodního hospodářství v podobě vodních nádrží a vodovodů stejně jako v roce 2015 nedošlo ke krizovým dopadům, jako jsou významná přerušení dodávek vody domácnostem. Často však byl nedostatek vody doplňován dovážením vody cisternami do menších vodojemů. Některé sektory hospodářství jako jsou zemědělské činnosti či hydroenergetika však byly značně ovlivněny. Nejvíce zasaženým povodím bylo pravděpodobně povodí Sázavy, u kterého malé průtoky značně ovlivnily kvalitu vody. V některých místech došlo i k úplnému vyschnutí toků (Daňhelka a kol. 2019).

6 Hydrologické sucho na Lužnici v roce 2018

Výskyt hydrologického sucha byl analyzován pomocí M-denních průtoků. Tato metoda je v Česku pro výzkum hydrologického sucha na povrchových tocích běžně používanou. V Česku se nejčastěji využívá prahová hodnota Q_{355d} , jenž je využívána také ČHMÚ. V této bakalářské práci bude využita jak hodnota Q_{355d} , tak hodnoty Q_{364d} , Q_{330d} a Q_{300d} . Pro výpočet prahové hodnoty se využívá referenční období. Od roku 2013 je Českým hydrometeorologickým ústavem používáno referenční období hydrologických let 1981 až 2010. Pro toto referenční období je pro hlásný profil Pilař stanovena prahová hodnota Q_{355d} průtokem $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ a pro profil Bechyně průtokem $2,91 \text{ m}^3/\text{s}$. Tyto hodnoty odpovídají vlastním výpočtům a jsou využívány také ČHMÚ.

Stejným způsobem, jako byla vypočtena hodnota Q_{355d} , jsou vypočítány i hodnoty Q_{364d} , Q_{330d} a Q_{300d} pro referenční období 1981 až 2010. Vypočtené hodnoty jednotlivých prahových hodnot pro oba profily jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tabulka č. 2: Vypočtené hodnoty jednotlivých prahových hodnot pro profil Pilař a Bechyně (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

	Q_{364d} (m^3/s)	Q_{355d} (m^3/s)	Q_{330d} (m^3/s)	Q_{300d} (m^3/s)
Pilař	0,18	0,3	0,71	1,13
Bechyně	1,8	2,91	4,98	6,76

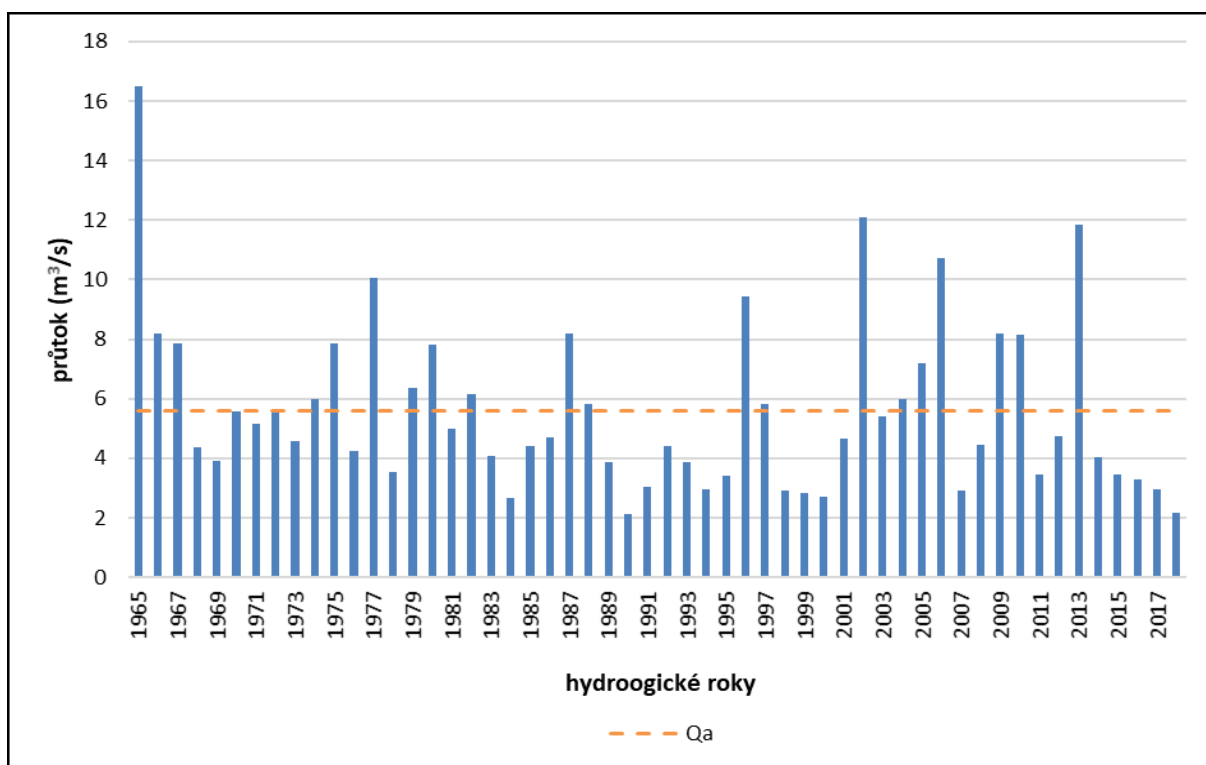
Dále byly vypočteny dlouhodobé průměrné denní průtoky z celých dostupných datových řad. Na profilu Pilař má dlouhodobý průměrný denní průtok k roku 2018 hodnotu $5,55 \text{ m}^3/\text{s}$ a je vypočten z dostupné řady dat od 1. 1. 1965 do 31. 10. 2018. Dlouhodobý průměrný denní průtok na profilu Bechyně má hodnotu $23,06 \text{ m}^3/\text{s}$ a byl vypočten z dostupné časové řady dat od 1. 11. 1910 do 31. 10. 2018.

Pro hodnocení hydrologického sucha na Lužnici v roce 2018 jsou využity různé parametry. Prvním parametrem použitým v této práci jsou průměrné roční průtoky z celých řad pozorování. Z těchto dat lze porovnat roční průměrný průtok v hydrologickém roce 2018 s roky předchozími. Poté se s roky předchozími porovnává počet suchých dní v hydrologickém roce 2018. Dále je zkoumán samotný rok 2018, průběh křivky průměrných denních průtoků a průběh hydrologického sucha. K určení intenzity suchých období slouží v této práci nedostatkové objemy. V neposlední řadě jsou využity grafy čar překročení průměrných denních průtoků.

Pokud je do grafických znázornění na profilu Pilař zahrnut hydrologický rok 1965, jde pouze o většinovou část hydrologického roku od 1. 1. 1965 do 31. 10. 1965.

6.1 Chod ročních průtoků

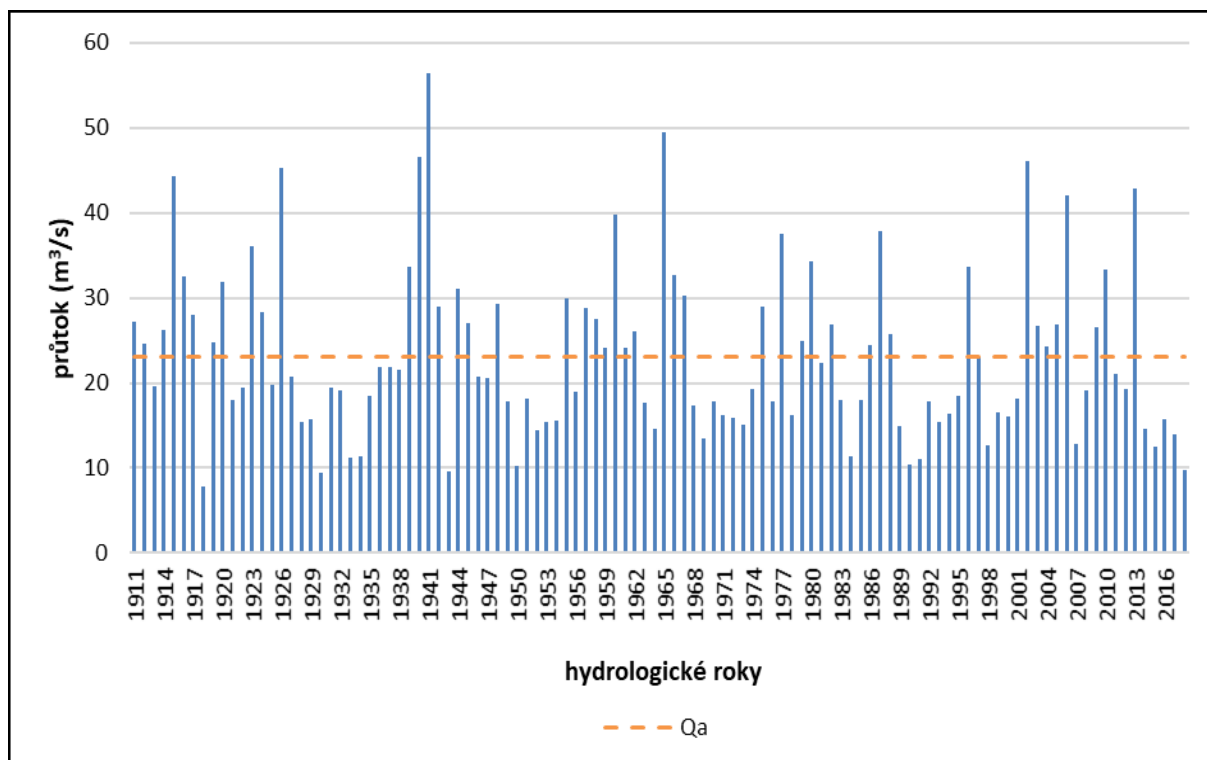
Průměrné roční průtoky za sledované období na daných profilech znázorňující nevyrovnanost odtoku jsou zobrazeny na grafech č. 5 a 6. U profilu Pilař je využit hydrologický rok 1965, který však není úplný a chybí první dva měsíce hydrologického roku. Jeho hodnota tedy může být zkreslená. Na grafu č. 5 je zřetelné, že rok 2018 na profilu Pilař lze zařadit mezi jeden z nejsušších roků od začátku měření. Průměrný roční průtok $2,16 \text{ m}^3/\text{s}$ pro rok 2018 byl překonán pouze v roce 1990 s hodnotou jen o málo nižší, konkrétně $2,10 \text{ m}^3/\text{s}$. Silně podprůměrné průtoky jsou rovněž zaznamenány v pěti posledních letech, tedy v suchém období 2014 až 2018. Na grafu č. 5 je také znázorněn dlouhodobý průměrný průtok s hodnotou $5,55 \text{ m}^3/\text{s}$.



Graf č. 5: Průměrné roční průtoky pro hydrologické roky z období 1965 až 2018 na profilu Pilař (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

Průměrný roční průtok pro hydrologický rok 2018 na stanici Bechyně je zobrazený na grafu č. 6. Rok 2018 se opět řadí mezi nejsušší roky, ale je až čtvrtý v pořadí. Nejsušším rokem na profilu Bechyně je za sledované období rok 1918 s průtokem $7,74 \text{ m}^3/\text{s}$. Následují roky 1930 a 1943. Poté je s průměrným průtokem $9,81 \text{ m}^3/\text{s}$ rok 2018. Přestože jde o čtvrtý rok v pořadí,

Ize rok 2018 považovat za velmi významný suchý rok. Pokud by průměrné roční průtoky pro profil Bechyně byly vyhodnocovány až od roku 1965, stejně jako profil Pilař, rok 2018 by byl z tohoto hlediska nejsušším zaznamenaným rokem.



Graf č. 6: Průměrné roční průtoky pro hydrologické roky z období 1911 až 2018 na profilu Bechyně (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

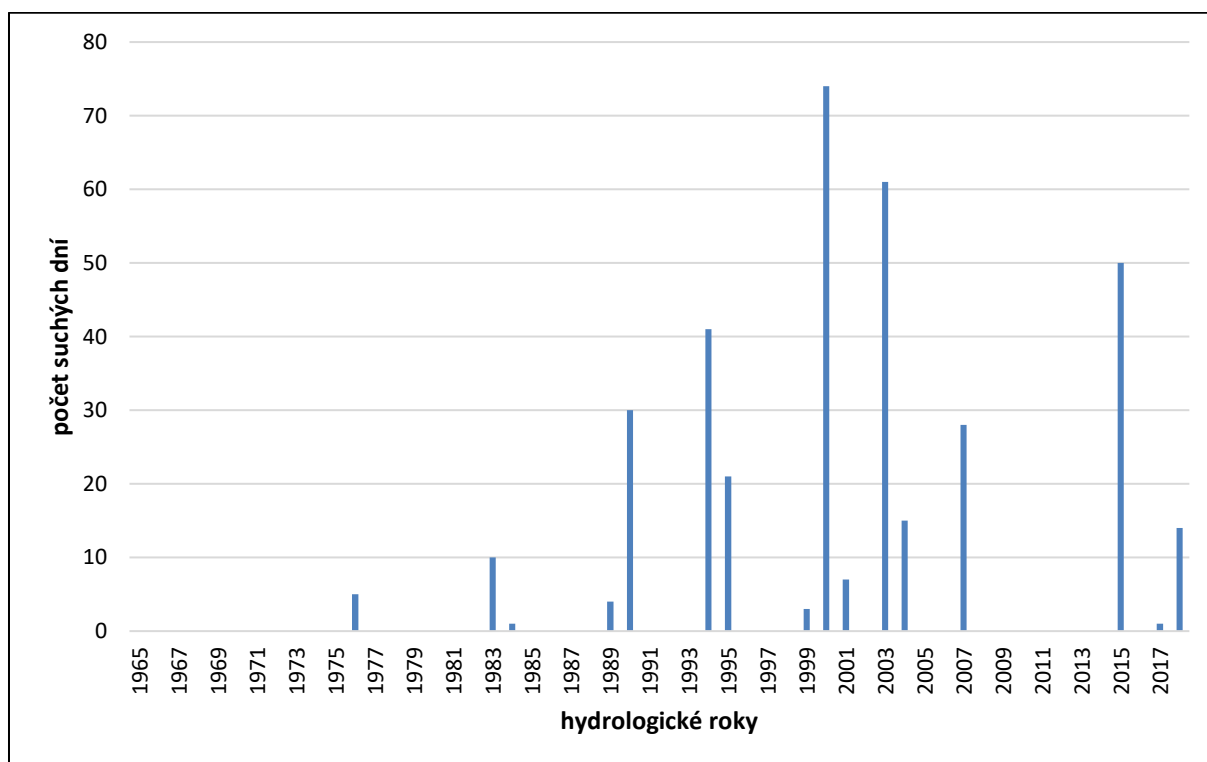
Jak u profilu Bechyně, tak u profilu Pilař lze konstatovat, že v roce 2018 byly v porovnání s ostatními roky sledovaného období naměřeny extrémně malé průměrné roční průtoky. To dokazuje také tabulka č. 3 s nejnižšími ročními průměrnými průtoky na stanicích Pilař a Bechyně.

Tabulka č. 3: Nejnižší roční průměrné průtoky na stanicích Pilař a Bechyně (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

Pilař		Bechyně		Bechyně (od r. 1965)	
rok	průtok (m³/s)	rok	průtok (m³/s)	rok	průtok (m³/s)
1990	2,10	1918	7,74	2018	9,81
2018	2,16	1930	9,36	1990	10,46
1984	2,66	1943	9,65	1991	11,09
2000	2,71	2018	9,81	1984	11,35
1999	2,83	1950	10,27	2015	12,43

6.2 Počet suchých dní

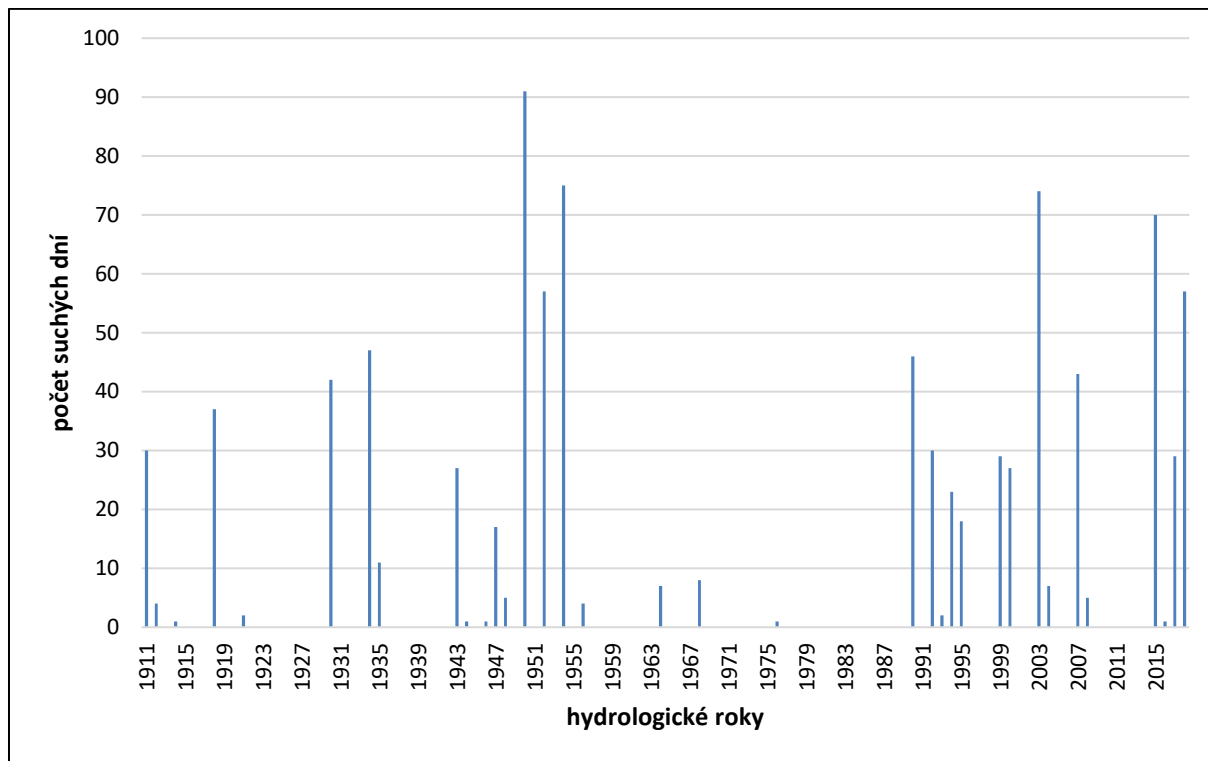
Dalším využitým parametrem pro analýzu hydrologického sucha v roce 2018 je počet suchých dní v roce. Suché dny jsou v tomto případě vztaženy k prahové hodnotě Q_{355d} . Na profilu Pilař bylo za sledované období (54 let) zaznamenáno 365 suchých dní. To znamená, že v 365 případech klesl průměrný denní průtok pod hodnotu Q_{355d} , respektive $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Z hlediska rozložení je však zřejmá velká nepravidelnost. Počet suchých dní na profilu Pilař je možné pozorovat na grafu č. 7. Nejvyšší počet suchých dní byl zaznamenán v roce 2000, ve kterém byl průměrný denní průtok pod limitní hodnotou Q_{355d} celkem 74krát. Významnost sucha v tomto roce dokazuje i 63 dní trvající perioda sucha. Z hlediska počtu suchých dnů jsou dále podstatné roky 2003, 2015, 1994, 1990, 2007, 1995 a 2004. Poté následuje hydrologický rok 2018, ve kterém bylo na profilu Pilař naměřeno 14 suchých dnů.



Graf č. 7: Počet suchých dní naměřených na profilu Pilař v hydrologických letech 1965 až 2018 (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

Na profilu Bechyně bylo naměřeno celkem 929 suchých dní. Větší počet oproti profilu Pilař je dán především delší časovou řadou dostupných dat (o 54 let). Pokud by se analyzovala časová řada pro Bechyni až od roku 1965, počet suchých dní by činil 477, tedy o 112 více než na profilu Pilař. Na grafu č. 8 je znázorněno, že největší počet suchých dní byl naměřen v roce 1950. Vysokou hodnotu vykazovaly dále roky 1954, 2003 a 2015. Poté je v pořadí rok 1952 společně s rokem 2018. V těchto letech se na profilu Bechyně vyskytlo 57 suchých dní. Počet

suchých dní v roce 2018, odpovídá údajům v tabulce č. 1 od Daňhelky a kol. (2019). S touto tabulkou odpovídají i vlastní vypočtené hodnoty pro rok 2015, ve kterém se nachází 70 suchých dní.



Graf č. 8: Počet suchých dní naměřených na profilu Bechyně v hydrologických letech 1911 až 2018 (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

Z informací o počtu suchých dní v roce 2018 v porovnání s lety předchozími je zřejmé, že rok 2018 byl extrémně suchý. Dále je na grafech č. 7 a 8 viditelné, že u poměrně velkého počtu let se neobjevil žádný den, ve kterém by průměrná denní hodnota byla nižší než Q_{355d} . Mezi počty suchých dní na profilech Pilař a Bechyně je znatelná korelace, která je zřejmá například v roce 2003. Tento rok byl na profilu Pilař druhým nejsušším rokem a na profilu Bechyně třetím. Dalším rokem, kde je viditelná korelace mezi profily je rok 2015, který je z tohoto hlediska třetím nejsušším zaznamenaným rokem na profilu Pilař a čtvrtým na profilu Bechyně. Nejvyšší počty suchých dní na stanicích Pilař a Bechyně jsou zaznamenány v tabulce č. 4.

Tabulka č. 4: Nejvyšší počty suchých dní na stanicích Pilař a Bechyně vztažených k prahové hodnotě Q_{355d} (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

Pilař		Bechyně		Bechyně (od r. 1965)	
rok	Počet suchých dní	rok	Počet suchých dní	rok	Počet suchých dní
2000	74	1950	91	2003	74
2003	61	1954	75	2015	70
2015	50	2003	74	2018	57
1994	41	2015	70	1990	46
1990	30	1952	57	2007	43
2007	28	2018	57	1992	30
1995	21	1934	47	1999	29
2004	15	1990	46	2017	29
2018	14	2007	43	2000	27

Svoboda (2011) ve své práci poukazuje na to, že výskyt sucha doprovází zvýšená četnost i extremity povodní v tomto období. Například povodni v roce 2002 předcházelo významné období sucha v roce 2000 a po ní se v roce 2003 opět vyskytl vysoký počet suchých dnů. Podobná situace nastala i při povodni v roce 2006.

Hydrologické sucho z hlediska počtu suchých dní je v této práci analyzováno i pomocí prahových hodnot Q_{364d} , Q_{330d} a Q_{300d} . Průtok Q_{364d} má na profilu Pilař hodnotu $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$. Tato hodnota je však nižší, než nejnižší naměřený průměrný denní průtok v hydrologickém roce 2018 na tomto profilu. Pod tuto hodnotu tedy průměrný průtok v roce 2018 neklesl a jelikož je průtok Q_{364d} brán jako mezní hodnota pro extrémní období sucha, dá se konstatovat, že v roce 2018 nedošlo na profilu Pilař k extrémně suchému období. Na profilu Bechyně má průtok Q_{364d} hodnotu $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Na rozdíl od profilu Pilař se na profilu Bechyně vyskytovaly průtoky nižší než prahová hodnota Q_{364d} . Z toho vyplývá, že na Lužnici se v roce 2018 vyskytovalo extrémní období sucha, ale bylo zaznamenáno jen na jednom z použitých profilů. V hydrologickém roce 2018 bylo na profilu Bechyně nižších průtoků, než je stanovená prahová hodnota, zaznamenáno 34. Vyšší hodnota byla vypočtena jen jednou, a to v roce 2015, ve kterém bylo extrémně suchých dnů zaznamenáno 36. Tyto hodnoty odpovídají tabulce č. 1 od Daňhelky a kol. (2019).

Třetím využitým prahovým průtokem je Q_{330d} . Na profilu Pilař má tento průtok hodnotu $0,71 \text{ m}^3/\text{s}$ a v hydrologickém roce 2018 bylo nižších průtoků zaznamenáno 87. Pro profil Bechyně má průtok Q_{330d} hodnotou $4,98 \text{ m}^3/\text{s}$ a v daném roce mělo nižší hodnotu průtoků 116 dní. Jde o poměrně silně nadprůměrné počty dnů pod prahovou hodnotou Q_{330d} . Na profilu Pilař byly vyšší počty suchých dnů vztažených k průtokům Q_{330d} zaznamenány pouze v letech 2000, 2003, 1994 a 1999. Na profilu Bechyně mají vyšší počet dnů pod prahovou hodnotou než rok

2018 pouze roky 1918, 1954 a 1950. Pokud by však profil Bechyně byl hodnocen až od roku 1965 (jako profil Pilař), v roce 2018 by byl naměřen největší počet dní pod prahovou hodnotou Q_{330d} . Nejvyšší počty suchých dní vztažených k hodnotě Q_{330d} na stanicích Pilař a Bechyně jsou znázorněny v tabulce č. 5. Pro porovnání se v roce 2017, který je také součástí suchého období 2014 až 2018, na profilu Pilař vyskytlo 49 dní pod prahovou hodnotou Q_{330d} a na profilu Bechyně 73 těchto dní vztažených k hodnotě Q_{330d} . V roce 2015 bylo na profilu Pilař vypočteno 85 suchých dní a na profilu Bechyně 100 suchých dní vztažených k hodnotě Q_{330d} .

Tabulka č. 5: Nejvyšší počty suchých dní vztažených k hodnotě Q_{330d} na stanicích Pilař a Bechyně (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

Pilař		Bechyně		Bechyně (od r. 1965)	
rok	počet dní pod Q_{330d}	rok	počet dní pod Q_{330d}	rok	počet dní pod Q_{330d}
2000	129	1918	130	2018	116
2003	109	1954	124	2000	111
1994	103	1950	118	2003	109
1999	91	2018	116	2015	100
2018	87	2000	111	1970	93

Posledním použitým prahovým průtokem je Q_{300d} . Na profilu Pilař byla jeho hodnota vypočtena na $1,13 \text{ m}^3/\text{s}$ a průtoků nižších bylo v hydrologickém roce 2018 na profilu Pilař vypočteno 121. Na profilu Bechyně má průtok Q_{300d} hodnotu $6,76 \text{ m}^3/\text{s}$ a nižších průtoků bylo v hydrologickém roce 2018 vypočteno 135. Hydrologický rok 2018 byl i z tohoto hlediska nadprůměrně suchý. V podobně významném suchém roce 2015 bylo na profilu Pilař vypočteno 123 suchých dní a na profilu Bechyně 128 dní. V roce 2017 se na profilu Pilař vyskytlo 83 těchto dní a na profilu Bechyně 119.

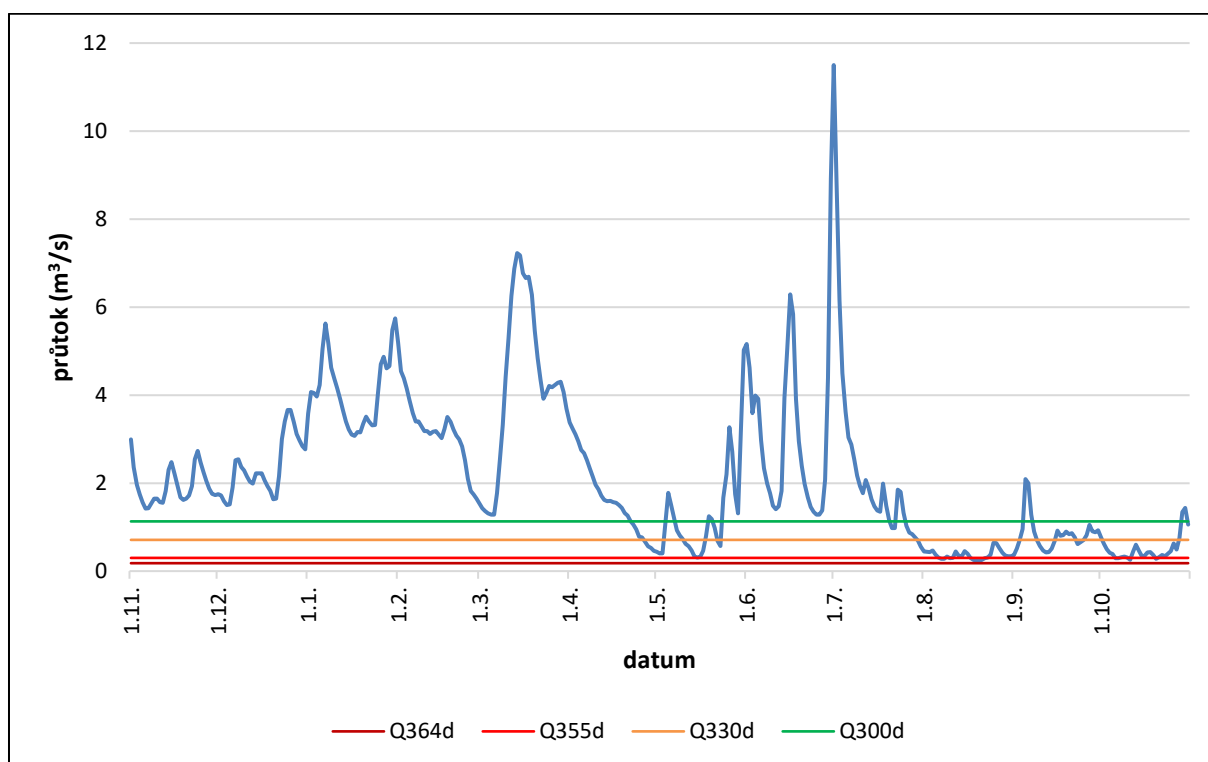
6.3 Průběh hydrologického roku 2018

Vhodným kritériem pro hodnocení hydrologického sucha je také analýza na základě křivky průměrných denních průtoků. Na grafech č. 9 a 10 jsou průměrné denní průtoky graficky porovnávány se všemi vypočtenými prahovými hodnotami, tedy Q_{364d} , Q_{355d} , Q_{330d} a Q_{300d} . Grafy č. 9 a 10 jsou také vhodné pro porovnání průměrných denních průtoků pro profil Pilař a Bechyně. První část roku až do začátku května je na obou profilech z pohledu průběhu průměrných denních průtoků podobná. Velké rozdíly jsou znatelné v průběhu léta především u vyšších hodnot průměrných denních průtoků. Zatímco maximální průtok na profilu Pilař byl zaznamenán 1. července, na profilu Bechyně již 25. května. Vyšší průtoky na profilu Bechyně, které se nevyskytly na profilu Pilař, jsou pravděpodobně dány lokálními srážkami v Novohradských horách. Velmi znatelný rozdíl je i na konci hydrologického roku, kde na profilu Bechyně došlo k výraznému vzestupu hladin. To je pravděpodobně dáno vypouštěním rybníků, které se nachází na toku mezi profilem Pilař a Bechyně.

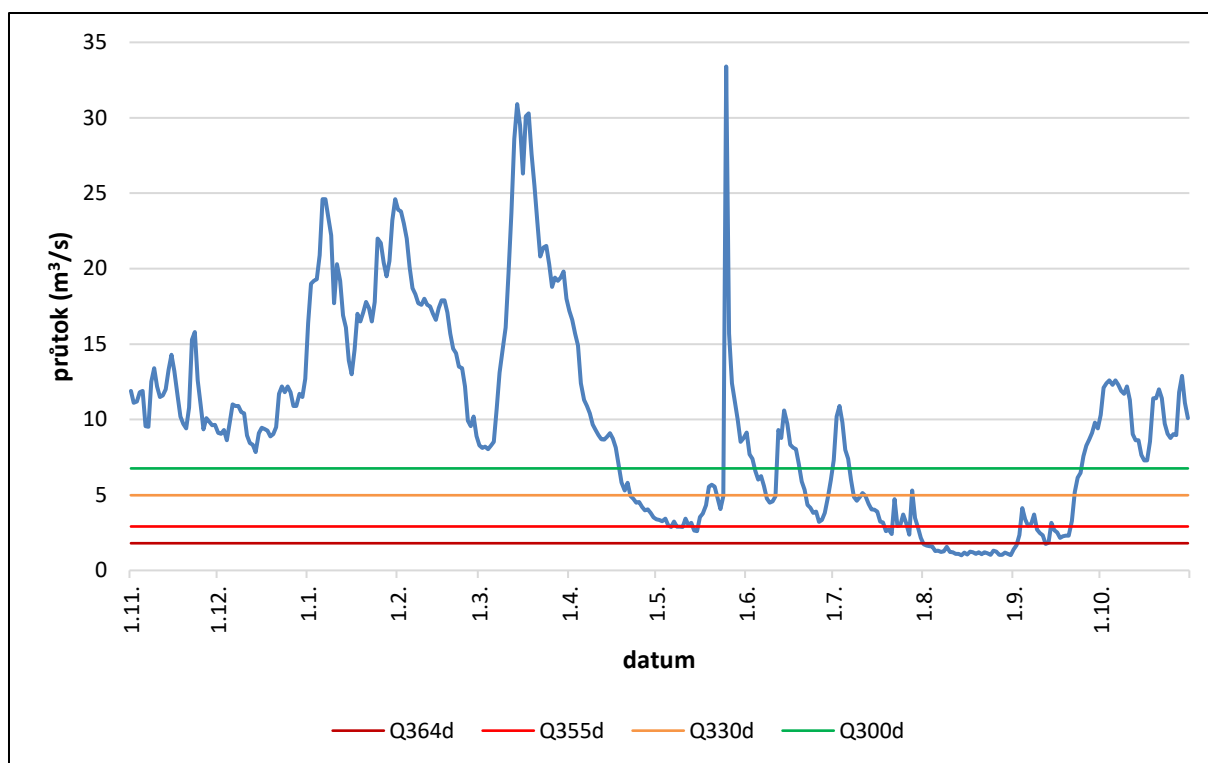
Hlavním využitým prahovým průtokem je Q_{355d} . Na profilu Pilař má tento průtok hodnotu $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ a v roce 2018 se pod touto hodnotou nacházelo 14 dní. Suché období začalo 7. srpna, když křivka denních průtoků klesla pod hranici Q_{355d} . Sucho však trvalo pouze několik dní a bylo často přerušováno. Nejdelší časový úsek v tomto období trval pouhých šest dnů. Poté došlo k výraznému nárůstu průměrného denního průtoky pravděpodobně z důvodu rozsáhlých intenzivních srážek, které se na daném území vyskytovaly (Daňhelka a kol. 2019). Hodnota průtoky klesla pod prahovou hodnotu až 6. října a opět kolísala okolo Q_{355d} . Poslední suchý den hydrologického roku na profilu Pilař byl zaznamenán 20. října. Průběh hydrologického sucha na profilu Pilař je znázorněn na grafu č. 11. Na profilu Bechyně má prahový průtok Q_{355d} hodnotu $2,91 \text{ m}^3/\text{s}$ a v hydrologickém roce 2018 bylo naměřeno 57 suchých dní vztažených k této hodnotě. Suché období se v tomto roce na profilu Bechyně poprvé objevilo 6. května. Křivka průměrných denních průtoků však neklesla pod linii prahové hodnoty hluboko a kolísala okolo ní. Toto období střídání suchých dní bylo přerušeno přibližně v polovině května, kdy suché období skončilo. Hodnoty průměrných průtoků poté třikrát poklesly k prahové hodnotě, ale suché období nenastalo. Hydrologické sucho v roce 2018 opět nastalo až 19. července. V tomto období průměrné denní průtoky opět kolísaly okolo prahové hodnoty až téměř do konce měsíce července. Poté nastalo nepřerušované suché období, které trvalo od 30. července až do 3. září. V tomto období byla průměrná hodnota průtoky $1,35 \text{ m}^3/\text{s}$ a nejnižší naměřený průměrný denní průtok měl hodnotu $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Křivka poté opět kolísala okolo prahové hodnoty a 20. září bylo na profilu Bechyně sucho ukončeno. Průběh hydrologického sucha na profilu Bechyně je znázorněn na grafu č. 12.

Při porovnání konce hydrologického sucha na obou profilech, je zřetelné, že na profilu Bechyně je sucho ukončeno o měsíc dříve. To je pravděpodobně způsobeno vypouštěním rybníků, které se nachází na toku mezi profilem Pilař a Bechyně. Porovnání počtu dnů vyskytující se pod prahovou hodnotou Q_{355d} s roky předchozími je znázorněno na grafech č. 7 a 8.

Průměty linií všech prahových hodnot s křivkou průměrných denních průtoků na profilech Pilař a Bechyně jsou znázorněny na grafech č. 9 a 10.

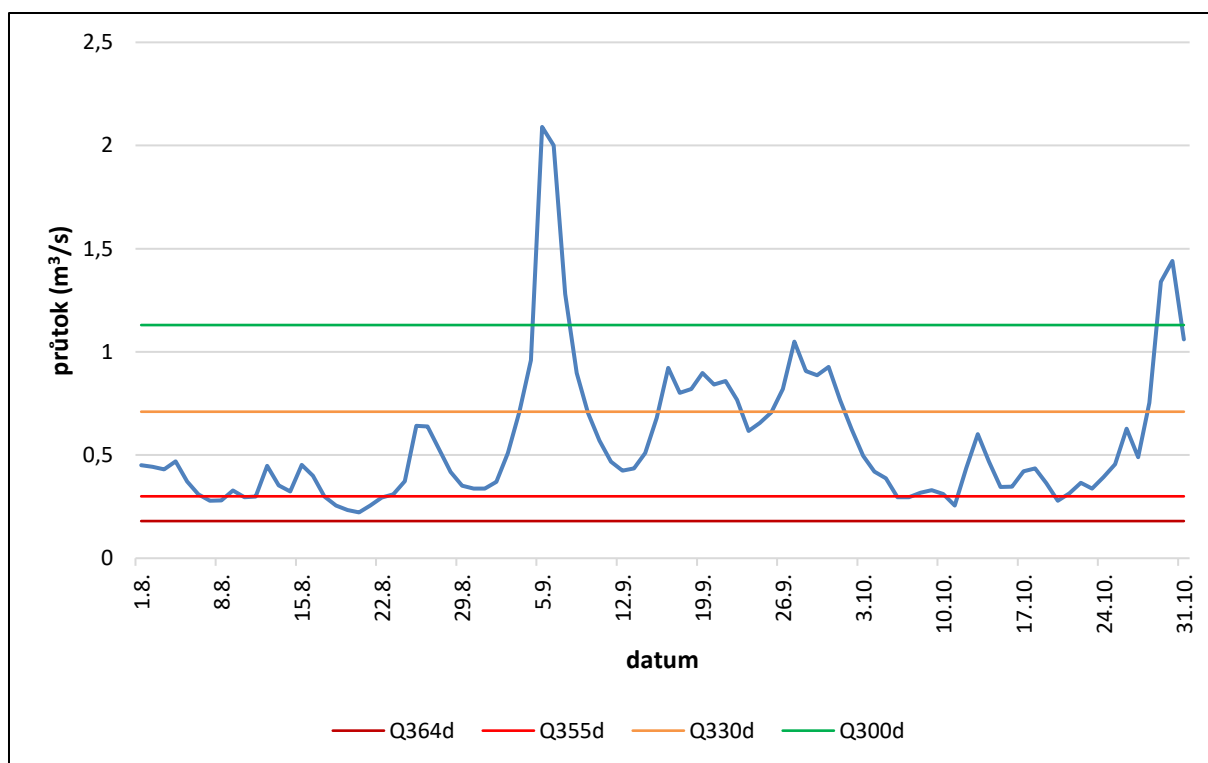


Graf č. 9: Průběh hydrologického roku na profilu Pilař (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

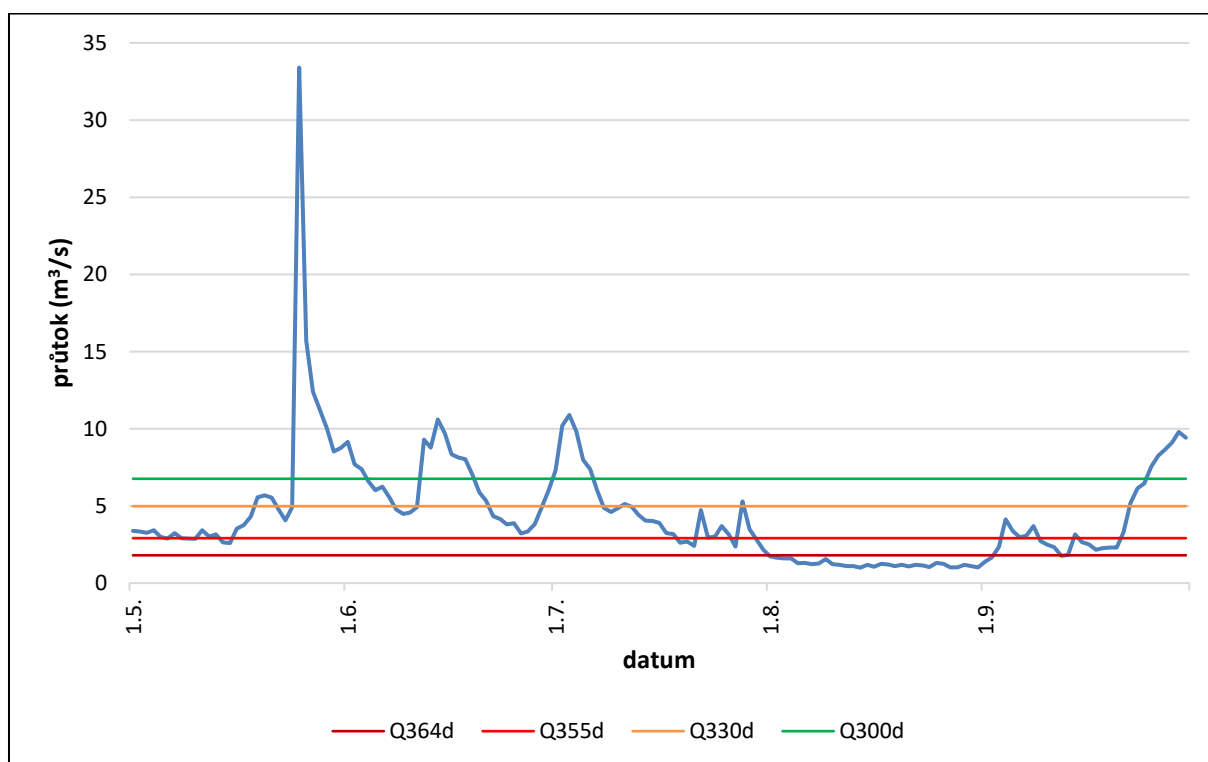


Graf č. 10: Průběh hydrologického roku na profilu Bechyně (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

Další grafy č. 11 a 12 podrobněji znázorňují průběh suchých období v roce 2018 na profilech Pilař a Bechyně. Graf č. 11 znázorňuje průběh suchých období na profilu Pilař od začátku srpna do konce října roku 2018, protože pouze v tomto období se vyskytovaly průměrné denní průtoky pod prahovou hodnotou Q_{355d} . Ze stejného důvodu jsou pro profil Bechyně na grafu č. 12 znázorněny pouze měsíce od května do září. Na grafech jsou znázorněny linie všech prahových hodnot, pro lepší odečtení informací z grafu.



Graf č. 11: Průběh hydrologického sucha v roce 2018 na profilu Pilař (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)



Graf č. 12: Průběh hydrologického sucha v roce 2018 na profilu Bechyně (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

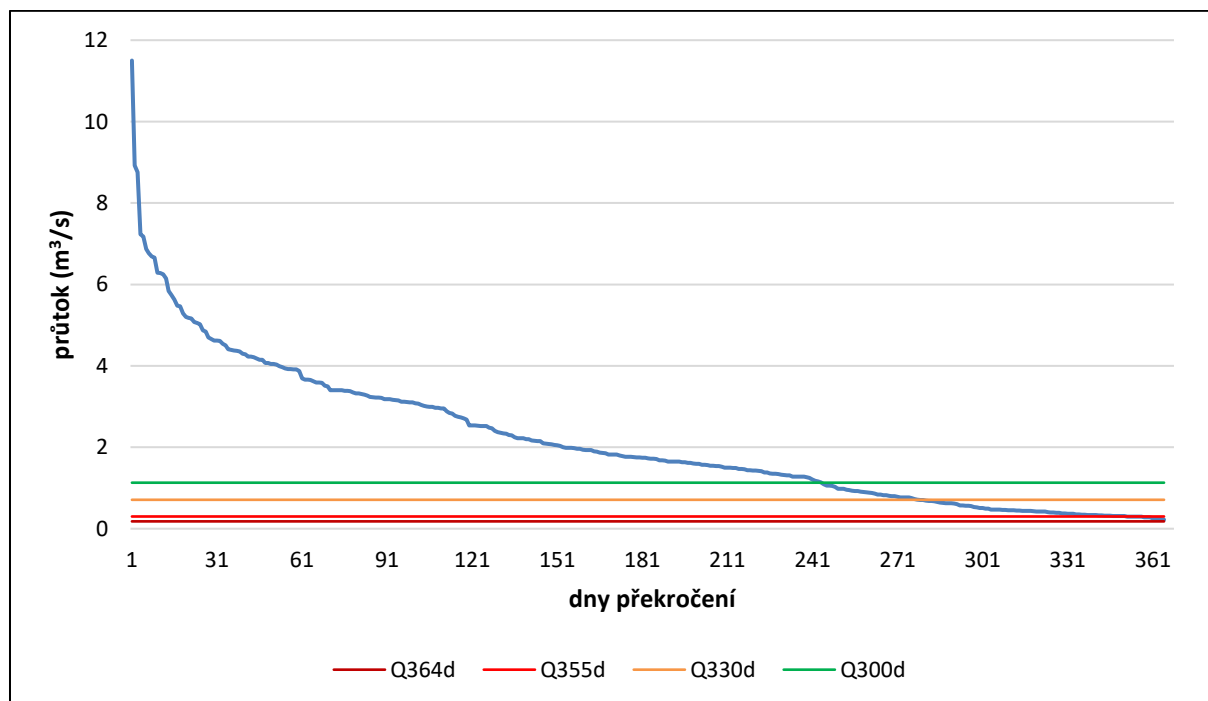
Při porovnání grafů č. 11 a 12 je zřejmé, že na profilu Pilař nedocházelo k tak intenzivnímu suchu jako na profilu Bechyně. Hydrologické sucho bylo často přerušováno a hodnoty průtoku nedosahovaly tak nízkých hodnot. Na rozdíl od toho, na profilu Bechyně

došlo k výraznému období sucha, které trvalo déle než měsíc a dosahovalo hodnot průtoku až pod hranici Q_{364d} .

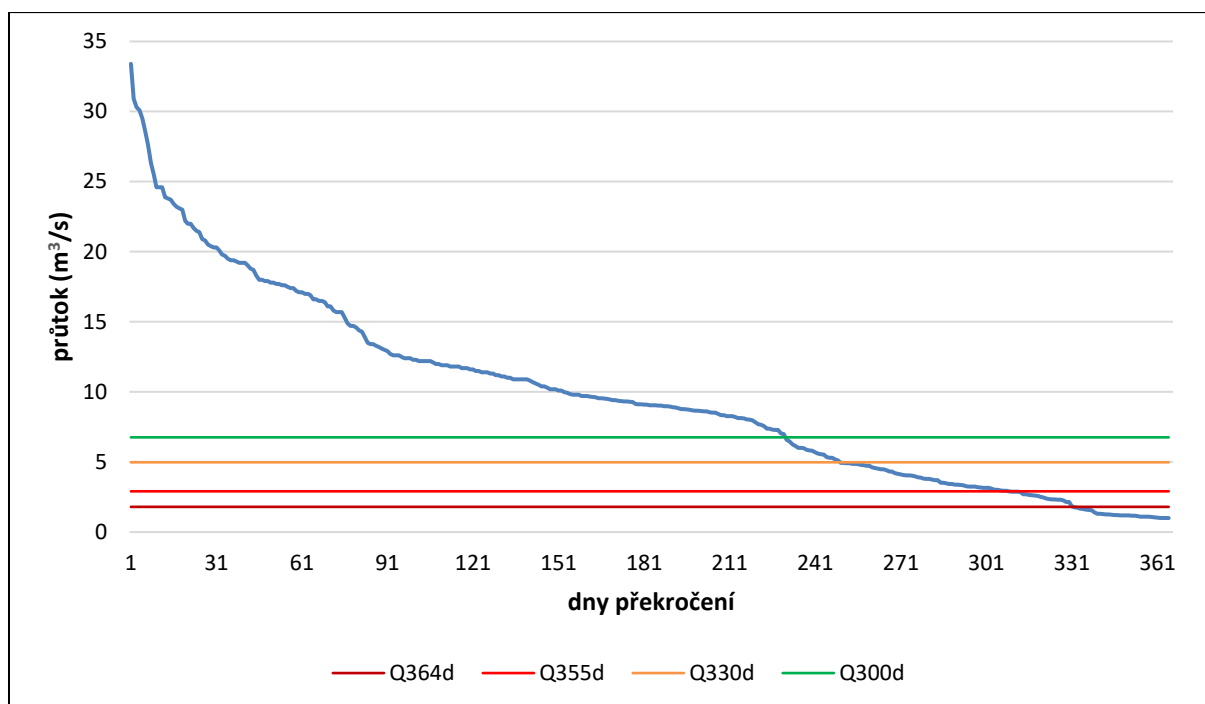
6.4 Čára překročení denních průtoků

Další využitou charakteristikou je čára překročení průměrných denních průtoků. Tato křivka graficky znázorňuje variabilitu denních průtoků. Jako hodnoty překročení jsou v tomto případě využity prahové hodnoty Q_{364d} , Q_{355d} , Q_{330d} a Q_{300d} . Data se uvádějí zpravidla v členění po 30 dnech v průběhu roku.

Počet dnů překročení odpovídá počtu dnů hydrologického sucha dle jednotlivých prahových hodnot odečtených od počtu dní v roce. Tedy na profilu Pilař byla hodnota Q_{355d} v roce 2018 dosažena nebo překročena 351krát, hodnota Q_{330d} 278krát a hodnota Q_{300d} byla dosažena nebo překročena 244krát. Hodnota Q_{364d} v roce 2018 byla na profilu Pilař překročena po celý rok. Na profilu Bechyně byla hodnota Q_{364d} v roce 2018 překročena či dosažena 331krát, hodnota Q_{355d} 308krát, hodnota Q_{330d} 249krát a prahová hodnota Q_{300d} 230krát. Na grafech č. 13 a 14 jsou znázorněny hodnoty Q_{364d} , Q_{355d} , Q_{330d} a Q_{300d} pro znázornění překročení těchto hodnot. Z grafu však lze vyčíst i kolik dní sucha se nacházelo v roce 2018 pod jednotlivou prahovou hranicí na obou profilech.



Graf č. 13: Čára překročení průměrných denních průtoků v roce 2018 na profilu Pilař (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

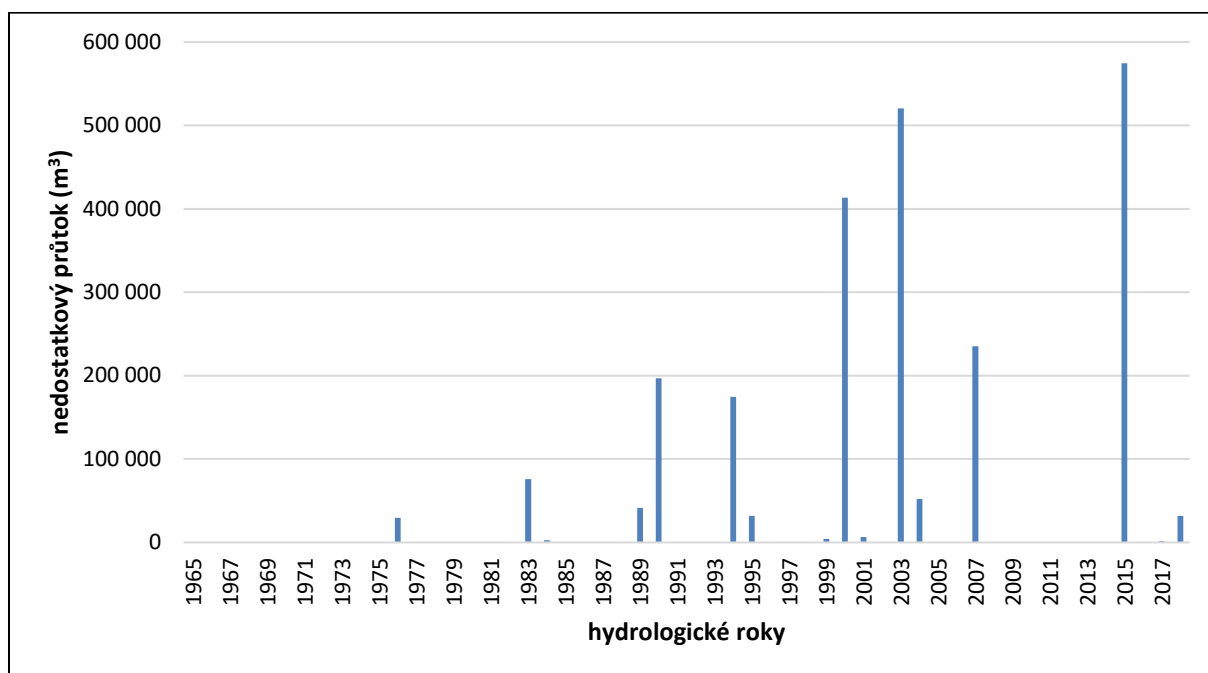


Graf č. 14: Čára překročení průměrných denních průtoků v roce 2018 na profilu Bechyně (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

6.5 Nedostatkové objemy

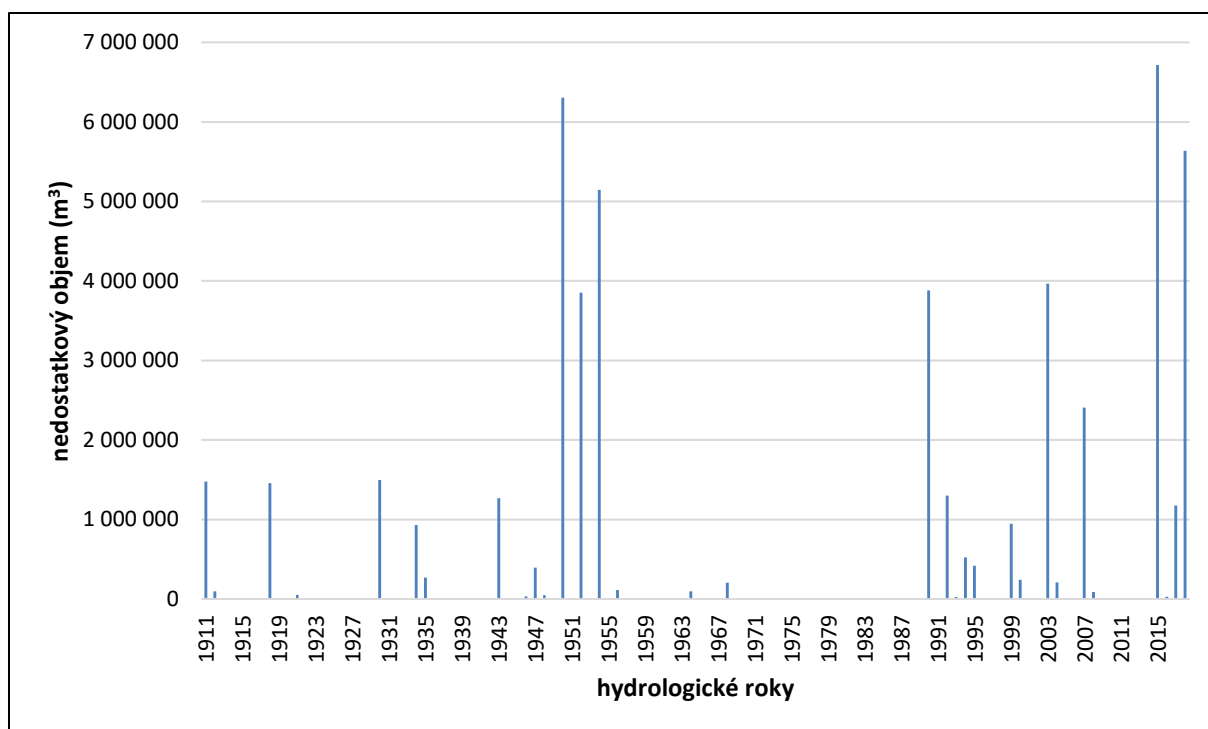
Nedostatkové objemy pro hydrologické roky od počátku pozorování do roku 2018 vypočtené pomocí prahové hodnoty Q_{355d} jsou znázorněny na grafech č. 15 a 16. První graf č. 15 znázorňuje nedostatkové objemy pro profil Pilař. Na tomto profilu byl zaznamenán největší nedostatkový objem v roce 2015, který dosahoval hodnoty $574\,387\text{ m}^3$. Hydrologický rok 2018 má až jedenáctý největší nedostatkový objem s hodnotou $31\,622\text{ m}^3$. Graf č. 15 je velmi podobný grafu č. 7 znázorňující počet suchých dnů, protože nedostatkové objemy rostou s délkou trvání sucha. Pokud se tedy v daný rok nevyskytly žádné suché dny, nemohlo dojít k nedostatkovému objemu. Významný rozdíl je však zřejmý například v roce 2015, ve kterém se vyskytlo 50 suchých dnů s hodnotou nedostatkového objemu $574\,387\text{ m}^3$. Z hlediska počtu suchých dnů byl rok 2015 třetí v pořadí, ale jeho nedostatkový objem je nejvyšší naměřený za sledované období. Z toho vyplývá, že v roce 2015 docházelo k extrémně nízkým průtokům, které zapříčinily vysoký nedostatkový objem. To dokládá i vysoký počet extrémně suchých dnů s průměrným denním průtokem pod hodnotou Q_{364d} , kterých bylo naměřeno v roce 2015 třicet, což je nejvíce za celou sledovanou řadu. Patrný rozdíl je například i v letech 2000 a 2003. V roce 2000 byl vypočten nejvyšší počet suchých dnů, tedy vyšší než v roce 2003. Vyšší nedostatkový objem byl však naměřený v roce 2003. To znamená, že v roce 2003 bylo sice méně suchých dnů, ty však dosahovaly nižších hodnot průtoků. V roce 2018 byl na profilu Pilař

naměřen poměrně malý nedostatkový objem, což dokládá i chybějící hodnoty průtoku pod Q_{364d} .



Graf č. 15: Nedostatkové objemy naměřené na profilu Pilař v hydrologických letech 1967 až 2018 (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

Na profilu Bechyně byl zaznamenán největší nedostatkový objem v roce 2015 a jeho hodnota byla $6,713 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Hydrologický rok 2018 byl třetí v pořadí s hodnotou $5,634 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Stejně jako u předchozího grafu (č. 15) je průběh tohoto grafu nedostatkových objemů naměřených na profilu Bechyně (graf č. 16) podobný grafu počtu suchých dnů na tomto profilu (graf č. 8). Graf se opět značně liší v roce 2015, který byl z hlediska počtu suchých dnů čtvrtý v pořadí, ale v tomto roce byly vypočteny nejvyšší nedostatkové objemy. Rok 2018 byl pátý v pořadí z hlediska počtu suchých dnů, stejně jako rok 1952. Na grafu č. 16 je však zřetelné, že v roce 1952 byl vypočten značně nižší nedostatkový objem. Z toho vyplývá, že v roce 2018 došlo k poměrně nízkým průtokům, což dokládá i vysoký počet extrémně suchých dnů.



Graf č. 16: Nedostatkové objemy naměřené na profilu Bechyně v hydrologických letech 1911 až 2018 (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

Pokud jsou vypočteny nedostatkové objemy od prahové hodnoty Q_{364d} , značící extrémní období sucha, na profilu Pilař není v roce 2018 zaznamenán žádný nedostatkový objem. Na profilu Bechyně se však v roce 2018 nedostatkový objem vyskytuje a má hodnotu $48\,384\text{ m}^3$ a jde o nejvyšší naměřenou hodnotu na tomto profilu za celou dobu pozorování od hydrologického roku 1911.

7 Diskuze

Hlavním cílem této práce bylo vyhodnocení hydrologického sucha v roce 2018, které bylo provedeno využitím dostupných dat průměrných denních průtoků z limnigrafických stanic Pilař a Bechyně na Lužnici. Povodí Lužnice představuje velmi zajímavý a složitý fluviální systém, a to především oblasti horní Lužnice. V ní se nachází zachovalá přírodní niva, která zásadně ovlivňuje hydrologický režim celé řeky (Krásný a kol. 2012). Hydrologickou jedinečnost povodí Lužnice dokládá i velké množství studií, které se k této oblasti vztahují. Například Slabá (2011) a Korejs (2018) se v této oblasti zabývali interakcí povrchové vody s vodou podzemní. Fialová (2015) se ve své práci zabývala stejným tématem, ale zaměřila se pouze na povodí horní Lužnice. Dále se prováděla v povodí Lužnice analýza fluviálních jezer (Hastíková 2012). V oblasti horní Lužnice probíhala studie extremity odtoku od Musila (2015) či samotného hydrologického režimu od Svobody (2011). Tématem hydrologického sucha v jiných oblastech Česka se zabývali například Maroušková (2016), která se zabývala povodím Rakovnického potoka a Skála (2017), který svůj výzkum zaměřil na pramenné oblasti šumavských toků. Významné výsledky v oblasti sucha v Česku přinesla též kniha publikovaná Brázdilem, Trnkou a kol. (2015). Podrobnou analýzu sucha zpracoval také tým Přf UK v rámci projektu „Retenční potenciál pramenných oblastí ve vztahu k hydrologickým extrémům“, který probíhal především na horní Lužnici a horní Otavě a jeho hlavním řešitelem byl prof. RNDr. Bohumír Jánský, CSc.

V praktické části práce je analyzováno hydrologické sucho v roce 2018 na základě průměrných denních průtoků z profilů Pilař a Bechyně. Kvůli odlišným fyzickogeografickým charakteristikám povodí vycházejí pro každý profil odlišné odtokové charakteristiky a díky tomu mohou být profily porovnány. Tato práce navazuje především na výsledky prací Svobody (2011) a Fialové (2015), kteří vyhodnocovali suché období na profilu Pilař a na práci Korejse (2018), který analyzoval sucho na Lužnici pomocí profilů Pilař i Bechyně. Časová řada dat je však prodloužena až do konce hydrologického roku 2018.

Tématem sucha na Lužnici se zabývalo několik autorů (Svoboda (2011), Fialová (2015), Musil (2015), Korejs (2018)) a tato práce na ně navazuje hodnocením sucha v roce 2018. Nejvýznamnější prací, která pojednává o suchu 2018 je předběžná zpráva o suchu 2018 od Daňhelky a kol. (2019). Ta však primárně zpracovává sucho v Česku, a proto se v práci jen okrajově objevuje profil Bechyně jako zástupce řeky Lužnice. Výsledky práce Daňhelky a kol. (2019) na profilu Bechyně jsou shodné, jak je vidět při porovnání tabulky č. 1 s výsledky v kapitole 6.2.

Při porovnání hydrologického sucha v roce 2018 na Lužnici s vybranými povodími v Česku je podle tabulky č. 1 od Daňhelky a kol. (2019) zřejmé, že hydrologické sucho v Česku bylo z hlediska počtu suchých dní na většině vybraných povodí významnější. Méně významnými z hlediska sucha byla povodí Odry, Olše či Berounky. Rozmezí začátku sucha v roce 2018 v Česku bylo poměrně velké a na některých povodích začalo sucho již v dubnu. Na profilu Bechyně bylo suché období vztažené k prahové hodnotě Q_{355d} započato v květnu. Jednalo se však o pouhých pár dní, a sucho poté opět nastalo až v druhé polovině července. Tomu odpovídá i informace od Daňhelky a kol. (2019) o tom, že v květnu a červnu se v jižních Čechách vyskytovaly významné srážky. Díky těmto významným srážkám také pravděpodobně nastalo sucho na profilu Pilař až v srpnu, protože v průběhu června a na začátku července byly na profilu vypočteny velmi vysoké průtoky. Průtoková minima se na většině vodních toků v Česku vyskytovala v druhé polovině srpna, čemuž odpovídají i profily Pilař a Bechyně. Na některých vodních tocích především na jihu a jihovýchodě Česka byl na začátku září zaznamenán významný nárůst průtoků díky poměrně významným srážkovým epizodám. To je zřetelné i na profilu Pilař a Bechyně. Na profilu Bechyně je však nárůst nižší, což pravděpodobně způsobily rybníky ležící na toku, které vodu zadržely. V průběhu měsíců července, srpna a září provedl v Česku roku 2018 tým Českého hydrometeorologického ústavu 964 hydrometrických měření u kterých bylo v 638 případech naměřen průtok Q_{355d} nebo menší. Na obrázku č. 10 jsou vyznačeny lokality těchto vodoměrných stanic a je zřetelné, že na profilu Bechyně došlo k hodnotě Q_{364d} a nižší, což odpovídá výsledkům v kapitole 6.2. Profil Pilař není na obrázku č. 10 zaznamenán, což je pravděpodobně způsobeno tím, že na tomto profilu neproběhlo měření týmem Českého hydrometeorologického ústavu (Daňhelka a kol. 2019).

Sucho se v roce 2018 vyskytovalo i v oblastech mimo naše území. O suchu v Evropě lze podle článku od Karlsruhe Institute of Technology (2018) v roce 2018 hovořit na 90 % Německého území, v jihozápadním Španělsku, jižním Portugalsku a na jihu a jihovýchodě Anglie. Di Liberto (2018) zmiňuje, že suchem v roce 2018 bylo postiženo území vymezené Skandinávií a Anglií na severu a Francií, Nizozemskem a Německem na jihu. Fernandez (2018) píše o suchu v Portugalsku, Španělsku, Nizozemsku, Francii či Švédsku. Články o suchu v roce 2018 se však nezaměřují jen na Evropu, ale na celý svět. Sucho postihlo například také USA (U.S. Drought monitor 2018) či Austrálii (Braganza 2019). Sucho ve světě je ale analyzováno různými způsoby, které se více či méně liší od metod využívaných v Česku. Definice sucha je totiž neurčitá a obecně znamená nedostatek vody v krajině. Z těchto informací se tedy dá konstatovat, že sucho ve smyslu nedostatku vody v krajině se v roce 2018 vyskytovalo na mnoha místech světa.

Při porovnání velmi suchých hydrologických let 2015 a 2018 pomocí dostupných dat průměrných denních průtoků z limnigrafických stanic Pilař a Bechyně na Lužnici lze konstatovat, že hydrologické sucho v roce 2018 je srovnatelné se suchým obdobím v hydrologickém roce 2015. Přestože některé parametry nasvědčují spíše tomu, že významnějším byl z hlediska hydrologického sucha rok 2015, v mnohých případech byly projevy sucha výraznější v hydrologickém roce 2018. Například z hlediska průměrných ročních průtoků, které byly v roce 2018 nejnižší za celé suché období 2014 až 2018 a to na obou profilech. Dále také z hlediska počtu suchých dní vztažených k hodnotě Q_{330d} , kterých bylo v roce 2018 na profilu Pilař nejvíce od roku 2003 a na profilu Bechyně dokonce až od roku 1954. Větší významnost hydrologického sucha 2018 dokládá i počet dnů pod prahovou hodnotou Q_{300d} na profilu Bechyně, kterých bylo v roce 2018 naměřeno více než v roce 2015. Dále byl rok 2018 významnější než rok 2015 na profilu Bechyně z hlediska nedostatkových objemů vztažených k prahové hodnotě Q_{364d} , jehož hodnota byla nejvyšší nemařenou z celé řady pozorování. Z hlediska ostatních parametrů je však významnější rok 2015. Tomu, že byl hydrologický rok 2015 na Lužnici z hlediska sucha intenzivnější než rok 2018, odpovídá i porovnání let 2015 a 2018 v tabulce č. 1, kde jsou vyznačeny vybrané profily s počtem dní dosažení nebo překročení Q_{355d} nebo Q_{364d} . Zde je na příkladu profilu Bechyně znázorněno, že rok 2015 byl na Lužnici výraznější než rok 2018. Celkově lze tedy konstatovat, že roky 2015 a 2018 na Lužnici byly z hlediska hydrologického sucha srovnatelné a záleží na tom, podle jakého parametru a profilu je hydrologické sucho analyzováno. Roky 2015 a 2018 jsou však jednoznačně vrcholovými roky suchého období 2014 až 2018 a jsou tedy výraznější než hydrologické roky 2014, 2016 a 2017.

Celkový velký rozdíl mezi výsledky pro profil Pilař a Bechyně může být ovlivněn zachovalou nivou, která předchází stanici Pilař. Ta může totiž během letních měsíců na rozdíl od antropogenně upravené nivy značně dotovat tok díky retenci vody. Zachovalá niva je poté schopna mírnit odtok během období sucha na profilu Pilař (Korejs 2018). Dále můžou být průtoky na profilu Bechyně značně ovlivněny srážkami v Novohradských horách, které na profilu Pilař nejsou zřetelné. V neposlední řadě můžou být průměrné denní průtoky na profilu Bechyně značně ovlivňovány antropogenní manipulací na rybnících nacházející se na toku Lužnice mezi profily Pilař a Bechyně.

Díky využití více prahových hodnot je zřetelné, jak je výběr vhodné prahové hodnoty významný. K určení suchého období byla použita především hodnota průtoků Q_{355d} . Pro profil Pilař má tento průtok hodnotu $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ a byl vypočten z referenčního období 1. 11. 1980 až 31. 10. 2010, které se využívá od roku 2013. Tuto hodnotu ve svých pracích využívá i ČHMÚ

či Korejs (2018). Prahová hodnota Q_{355d} je však pro každé referenční období odlišná a různí autoři v různých pracích využívají odlišnou hodnotou. Prahové hodnoty pro určitá referenční období stanovuje i ČHMÚ. Pro předchozí referenční období 1. 11. 1950 až 31. 10. 1980, které se využívalo do roku 2013, byla pro profil Pilař vypočtena hodnota $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$. S touto hodnotou pracuje například Svoboda (2011) či Fialová (2015). Přestože Svoboda (2011) ve své práci vyhodnocoval sucho na profilu Pilař dle hodnoty $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$, vypočetl prahovou hodnotu Q_{355d} z období od 1. 1. 1965 do 31.10.2010, která měla hodnotu $0,83 \text{ m}^3/\text{s}$. Tato hodnota však neodpovídá vlastním výpočtům hodnoty Q_{355d} pro období od 1. 1. 1965 do 31. 10. 2010. Vlastními výpočty byla dále stanovena prahová hodnota Q_{355d} pro celé sledované období profilu Pilař od 1. 1. 1965 do konce hydrologického roku 2018. Tato hodnota je rovna $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$. Zde je vidět, že definice sucha je nejednoznačná a že rozpětí intervalu mezi $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0,83 \text{ m}^3/\text{s}$ je široké.

Při využití jiných hodnot prahové hodnoty jsou výpočty značně odlišné. Například při využití prahové hodnoty $0,83 \text{ m}^3/\text{s}$, kterou vypočetl Svoboda (2011), by na profilu Pilař bylo naměřeno v roce 2018 100 suchých dní místo 14, které byly vypočteny při využití prahové hodnoty $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Pokud by jako prahová hodnota byla brána hodnota průtoku $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$, která se využívala do roku 2013, měl by rok 2018 pouhé dva dny sucha. Při využití prahové hodnoty $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$ vypočtené z celého sledovaného období (1. 1. 1965–31. 10. 2018) je v roce 2018 naměřeno 34 dní sucha. Stejně jako je velké rozpětí intervalu prahových hodnot, i počty suchých dní jsou velmi odlišné a to od 2 do 100 suchých dnů.

Tabulka č. 6: Počet suchých dní v roce 2018 při využití odlišných hodnot prahového průtoku Q_{355d} pro profil Pilař (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

	referenční období 1950–1980	referenční období 1981–2010	období 1. 1. 1965– 31.10. 2018	období 1. 1. 1965–31. 10. 2010 (hodnota vypočtena Svobodou (2010))
$Q_{355d} \text{ (m}^3/\text{s)}$	0,25	0,3	0,37	0,83
počet suchých dní v roce 2018	2	14	43	100

Pro profil Bechyně má průtok Q_{355d} využívaný v této práci hodnotu $2,91 \text{ m}^3/\text{s}$. Tato hodnota je též vypočtena z referenčního období 1981 až 2010. Pro porovnání Korejs (2018) ve své práci využíval hodnotu $3,251 \text{ m}^3/\text{s}$, která je však zastaralá a platí pro referenční období 1. 11. 1950 až 31. 10. 1980, které se stejně jako pro profil Pilař od roku 2013 nevyužívá. I v tomto případě byla vlastními výpočty stanovena prahová hodnota Q_{355d} pro celou řadu pozorování, což je na profilu Bechyně od 1. 11. 1910 do konce hydrologického roku 2018. Tato

hodnota je rovna 3,15 m³/s. Vlastními výpočty byla dále vypočtena hodnota $Q_{355d} = 3,1$ m³/s z období 1. 1. 1965–31. 10. 2018, tedy ze stejného období, jako byl hodnocen profil Pilař.

V roce 2018 bylo pomocí prahové hodnoty 2,91 m³/s (vypočtené z referenčního období 1981 až 2010) vypočteno 57 suchých dní. Pokud by byla využita prahová hodnota využívaná Korejsem (2018), rok 2018 by měl 71 suchých dní. Při využití vlastně vypočtené hodnoty Q_{355d} z období od 1. 11. 1910–31. 10. 2018 bylo zjištěno v roce 2018 63 suchých dní. Stejný počet suchých dní vyjde i při využití prahové hodnoty Q_{355d} vypočtené z období 1. 1. 1965–31. 10. 2018 (z období, pro které byl hodnocen profil Pilař). Rozdíly v počtu suchých dnů sice nejsou tak výrazné jako na profilu Pilař, ale i tak je znatelný rozdíl ve využití odlišných hodnot prahového průtoku Q_{355d} .

Tabulka č. 7: Počet suchých dní v roce 2018 při využití odlišných hodnot prahového průtoku Q_{355d} pro profil Bechyně (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

	referenční období 1981–2010	období 1. 1. 1965– 31. 10. 2018	období 1. 11. 1910– 31. 10. 2018	referenční období 1950–1980
Q_{355d} (m³/s)	2,91	3,1	3,15	3,251
počet suchých dní v roce 2018	57	63	63	71

K vyhodnocení sucha v roce 2018 byly také využívány hodnoty Q_{364d} , Q_{330d} a Q_{300d} , přestože většina českých publikací při hodnocení sucha využívá především hodnotu Q_{355d} . Výsledky jsou tedy těžko srovnatelné s předešlými pracemi, ale lze je porovnat s vypočtenou prahovou hodnotou z odlišného období. Porovnání těchto dvou hodnot pro jednotlivé profily je znázorněno v tabulkách č. 8 a 9. Je zřejmé, že využití odlišného období, ze kterého se určují prahové hodnoty, má značný vliv na celkový výsledek.

Tabulka č. 8: Hodnoty jednotlivých prahových hodnot a počty suchých dní v roce 2018 při jejich využití na profilu Pilař (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

	hodnoty vypočteny z období 1. 1. 1965–31. 10. 2018		hodnoty vypočteny z období 1. 11. 1980–31. 10. 2018	
	hodnota prahového průtoku (m ³ /s)	počet suchých dní v roce 2018	hodnota prahového průtoku (m ³ /s)	počet suchých dní v roce 2018
Q_{364d}	0,177	0	0,18	0
Q_{330d}	0,88	104	0,71	87
Q_{300d}	1,27	127	1,13	121

Tabulka č. 9: Hodnoty jednotlivých prahových hodnot a počty suchých dní při jejich využití na profilu Bechyně (zdroj: vlastní zpracování dat ČHMÚ)

	hodnoty vypočteny z období 1. 11. 1910–31. 10. 2018		hodnoty vypočteny z období 1. 11. 1980–31. 10. 2010	
	hodnota prahového průtoku (m ³ /s)	počet suchých dní v roce 2018	hodnota prahového průtoku (m ³ /s)	počet suchých dní v roce 2018
Q_{364d}	1,65	31	1,8	34
Q_{330d}	5,16	118	4,98	116
Q_{300d}	7	135	6,76	135

Při porovnání této bakalářské práce s předchozími pracemi, které se zabývaly suchem v této oblasti, je opět zřetelný fakt, že využití odlišného období pro určení prahové hodnoty je pro výsledky práce významné. Například Svoboda (2011), který využíval ve své práci prahovou hodnotu 0,25 m³/s, uvádí, že v roce 2000 se na profilu Pilař vyskytovalo 59 suchých dní a v roce 2003 56 suchých dní. V této bakalářské práci však bylo vlastními výpočty stanoveno pro rok 2000 74 suchých dní a pro rok 2003 61 suchých dní vztažených k hodnotě Q_{355d}. Dále Korejs (2018), který ve své práci pro profil Bechyně využil prahovou hodnotu Q_{355d} vypočtenou z období od 1. 11. 1950 do 31. 10. 1980 uvádí, že na profilu Bechyně bylo ve vrcholném roce 1950 naměřeno 97 dní sucha. Z vlastních výpočtů však bylo pro profil Bechyně vypočteno 91 suchých dní vztažených k hodnotě Q_{355d}. Dále Korejs (2018) ve své práci uvádí pro rok 1950 84 dní místo autorem naměřených 75 suchých dní.

Korejs (2018) ve své práci taktéž využíval pro hodnocení sucha nedostatkové objemy. Ty však nebyly počítány pro všechny suché dny v roce, jako tomu bylo v této práci, ale jen pro nejvýznamnější periody v daném roce. Přestože je mezi výslednými daty určitá korelace, hodnoty se značně liší. Pro profil Bechyně jsou navíc data ovlivněna odlišnou prahovou hodnotou, kterou Korejs (2018) ve své práci využíval. Na profilu Pilař byl například v roce 2015, který má podle vlastních výpočtů nejvyšší nedostatkový objem, hodnocena pouze perioda od 21. července do 17. srpna. Tato perioda byla však od dalšího suchého období vzdálená pouhých pět dní a od 23. 8. 2015 trvala další významná perioda až do 3.9. Sucho se poté na profilu Pilař vyskytovalo s přestávkami až do 24. 9. 2015. Z vlastních výpočtů má nedostatkový objem pro rok 2015 hodnotu 574 387 m³ a Korejs (2018) pro rok 2015 uvádí nedostatkový objem 382 147 m³.

V rešeršní části bylo dále z dostupné literatury zhodnoceno suché období 2014 až 2018 v Česku. V těchto letech docházelo jak k podprůměrným srážkám, tak k nadprůměrným teplotám vzduchu, a to vytvářelo vhodné prostředí pro vznik sucha. Toto období má značný efekt dlouhodobé kumulace srážkového deficitu, jehož výsledek je zřetelný v roce 2018.

Vrcholy tohoto období se nacházely v letech 2015 a 2018 a proto byly tyto roky prozkoumány podrobněji.

8 Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo vyhodnocení hydrologického sucha v roce 2018 při využití dostupných průtokových dat z profilů Pilař a Bechyně na Lužnici. Na základě analýzy těchto dat byly vyhotoveny výsledky, které jsou vyobrazeny pomocí přehledných grafů a tabulek. Srovnáním výsledků s předešlými roky byla zhodnocena extremita hydrologického sucha na Lužnici v roce 2018 a díky zpracování dat ze dvou profilů je k dispozici určité srovnání.

V této bakalářské práci je sucho analyzováno podle různých kritérií, i podle různých prahových hodnot. Z toho důvodu nelze určit jeden rok, který by byl z hlediska sucha nejvýznamnější, protože každé kritérium nasvědčuje jinému období. Výsledky však ukazují, že hydrologický rok 2018 byl na Lužnici z hlediska sucha v novodobé historii velmi významný a srovnatelný s rokem 2015.

Důležitou součástí této bakalářské práce je seznámení se zájmovým územím, které bylo popsáno pomocí fyzickogeografické charakteristiky povodí Lužnice. V další kapitole byly představeny metody hodnocení minimálních průtoků a nedostatkových objemů, které byly v práci využity. Tato práce se ve významné části zabývala také vyhodnocením hydrologického sucha v období 2014 až 2018 v Česku. V této kapitole bylo nejdříve obecně popsáno celé suché období a poté byly podrobněji analyzovány vrcholné suché roky 2015 a 2018. Tato kapitola nejen popisuje nízké průtoky naměřené v tomto suchém období, ale zaměřuje se také podrobně na příčiny, které nízké průtoky způsobily. Zmíněné kapitoly byly zpracovány rešerší dostupné literatury.

Předložená bakalářská práce zhodnotila hydrologické sucho na Lužnici v roce 2018 a splnila tak cíle stanovené v úvodu práce. Toto téma je zajímavé také pro navazující práce zabývající se touto tematikou. V budoucnu je možné očekávat další vývoj víceletého sucha, které se projevuje především na nedostatku podzemních vod a s tím spojeným snížením základního odtoku.

9 Seznam použité literatury a zdrojů

ALBRECHT, J. a kol. (2003): Českobudějovicko. In: Mackovič P. a Sedláček M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek VIII. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, Praha.

TOLASZ, R. (2007): Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Praha.

BALVÍN, P., VIZINA, A. (2018): Stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků v podmínkách ČR. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2018, 2, 8–13.

BÍLEK, M. (1999): Řeka Lužnice, <http://www.pf.jcu.cz/others/okoli/prir/luznice.htm> (20. 3. 2019).

BLINKA, P. (2002): Metoda hodnocení sucha. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed.): XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě, 32–44.

BLINKA, P. (2009): Klimatologické hodnocení sucha na území Čech a Moravy v letech 1875–2002. Disertační práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

BRAGANZA, K. (2019): Australia's 2018 in weather: drought, heat and fire, <https://theconversation.com/australias-2018-in-weather-drought-heat-and-fire-109575> (4. 5. 2019).

BRÁZDIL, R., TRNKA, M. a kol. (2015): Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, V.V.I., Brno.

ČEKAL, R. (2018): Vývoj sucha od roku 2014 a jeho vyhodnocení za září 2018, http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2018/Hodnoceni_sucha_2014_2018_MS_JD_RC.pdf (8. 4. 2019).

ČHMÚ (2018): Déšť v posledních pěti letech nestíhá dorovnat odtok v řekách, <http://portal.chmi.cz/zpravy> (8. 4. 2019).

ČHMÚ (2019a): Minimální stavy na vodních tocích, <http://www.chmuul.org/aktuality/2012-09-minimalni-stavy/> (8. 4. 2019).

ČHMÚ (2019b): Přehled hlásných profilů, http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_bklist.php?srt=&fkraj=&fpob=&fucpov=&kat=&fkat=&startpos=100&recnum=50 (8. 4. 2019).

ČHMÚ (2019c): Sucho, <http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#> (27. 2. 2019).

- DAŇHELKA, J. a kol. (2015): Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015, http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/zpravy/Sucho_2015_CHMU_prosinec.pdf (27. 2. 2019).
- DAŇHELKA, J. a kol. (2019): Předběžná zpráva o suchu 2018, http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2019/Predbezna_zprava_o_suchu_2018.pdf (26. 3. 2019).
- DI LIBERTO, T. (2018): A hot, dry summer has led to drought in Europe in 2018, <https://www.climate.gov/news-features/event-tracker/hot-dry-summer-has-led-drought-europe-2018> (4. 5. 2019).
- DRACUP, J. A., LEE, K. S., PAULSON JR, E. G. (1980): On the definition of drought. *Water resources research*, 16, 2, 297–302.
- EEA (2009): Sucho a nadměrné využívání vody v Evropě. Evropská agentura pro životní prostředí, <https://www.eea.europa.eu/cs/pressroom/newsreleases/sucho-a-nadmerne-uzivani-vody-v-evrope> (9. 3. 2019).
- ESTRELA, T. a kol. (2001): Extreme hydrological events: floods and droughts. Environmental issue report. Sustainable water use in Europe, Part 3. European Environment Agency.
- FEYEN, L., DANKERS, R. (2009): Impact of global warming on streamflow drought in Europe. *Journal of geophysical research*, 114, D17, 1–17.
- FIALOVÁ, P. (2015): Interakce podzemní a povrchové vody za extrémních hydrologických situací v nivě horní Lužnice. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- GERIŠ, R., KOSOUR, D. (2018): Změny v chemismu a biologii mezotrofní nádrže po mimořádném snížení hladiny. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2018, 4, 24–30.
- HANEL, M. a kol. (2013): Možné dopady klimatické změny na režim nízkých průtoků. Sucho a jak mu čelit, sborník abstraktů, 15–19.
- HASTÍKOVÁ, P. (2012): Vývoj vybraných fluvialních jezer v nivě Lužnice. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- HISDAL, H., TALLAKSEN, L. M. (eds.) (2000): Drought event definition. Technical Report to the ARIDE project, Oslo, 6.

- CHÁBERA, S. (1998): Fyzický zeměpis jižních Čech. Jihočeská univerzita, České Budějovice.
- CHÁBERA, S. a kol. (1985): Neživá příroda. Jihočeská vlastivěda. Jihočeské nakladatelství České Budějovice, České Budějovice.
- CHÁBERA, S., KÖSSL, R. (1999): Základy fyzické geografie (přehled hydrogeografie). Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, České Budějovice.
- CHLUPÁČ, I. a kol. (2011): Geologická minulost České republiky. Academia, Praha.
- IN-POČASÍ (2014): Index kontinentality, <https://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/index-kontinentality/> (20. 3. 2019).
- IPCC (2018): Global warming of 1,5 °C, <https://www.ipcc.ch/sr15/> (8.3.2019).
- KIT (2018): Grought affected about 90 % of German territory in 2018. Karlsruhe Institute of Technology, <https://phys.org/news/2018-09-drought-affected-german-territory.html> (4. 5. 2019).
- KOREJS, T. (2018): Interakce podzemní a povrchové vody v době hydrologického sucha v nivě horní Lužnice. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie Přf UK, Praha.
- KRÁSNÝ, J. a kol. (2012): Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod. Česká geologická služba, Praha.
- LEE, S. O., JUNG, Y. (2018): Efficiency of water use and its implications for a water-food nexus in the Aral sea basin. *Agricultural Water Managment*, 207, 80–90.
- MAGILLIGAN, F. J., NISLOW, K. H. (2005): Changes in hydrologic regime by dams. *Geomorphology*, 71, 1–2, 61–78.
- MAROUŠKOVÁ, K. (2016): Projevy a dopady hydrologického sucha v povodí Rakovnického potoka. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie Přf UK, Praha.
- MISHRA, A. K., SINGH, V. P. (2010): A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391, 202–216.
- MUSIL, J. (2015): Extremita odtoku v povodí horní Lužnice. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie Přf UK, Praha.
- NDMC (2019): Drought in-depth. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, <https://drought.unl.edu/Education/DroughtIn-depth.aspx> (27. 2. 2019).

NĚMEC, J., KOPP, J. a kol. (2009): Vodstvo a podnebí v České republice v souvislosti se změnou klimatu. Ministerstvo zemědělství České republiky, Consult Praha.

PVK (2019): Sucho zapříčinilo nárůst počtu havárií na vodovodní síti, ztráty vody na minimum, <https://www.pvk.cz/aktuality/sucho-zapricinilo-narust-poctu-havarii-na-vodovodni-siti-ztraty-vody-na-minimu/> (9. 3. 2019).

ROŽNOVSKÝ, J. (2010): Podnebí ČR a výskyty sucha, <http://user.mendelu.cz/xvlcek1/rrc/sucho/ROZNOVSKY.pdf> (27.2.2019).

ROŽNOVSKÝ, J. a kol. (2012): Sucho na území ČR a jeho dopady, http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/katastrofy/26zasedani/Roznovsky_sucho_230412.pdf (27. 2. 2019).

SKÁLA, V. (2017): Hydrologické sucho v pramenných oblastech šumavských toků. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie Přf UK, Praha.

SLABÁ, Z. (2011): Interakce mezi povrchovou a podzemní vodou v nivě řeky Lužnice. Diplomová práce. Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užitá geofyziky Přf UK, Praha.

STAHL, K. (2001): Hydrological drought, study across Europe. Dizertační práce. Geowissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg.

SVOBODA, P. (2011): Hydrologický režim horní Lužnice. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie Přf UK, Praha.

ŠACHOVÁ, B. (2010): Hydrologické sucho v kontextu klimatické změny ve světě a v českém povodí Labe. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie Přf UK, Praha.

TALLAKSEN, L. M., MADSEN, H., CLAUSEN, B. (1997): On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrological sciences journal*, 42, 1, 15–33.

TALLAKSEN, L. M., VAN LANEN, H. A. J. a kol. (2004): Hydrological drought. Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. *Developments in water science*, Elsevier.

TREML, P. (2012): Největší hydrologická sucha 20. století, http://biodrought.eu/pdf/Treml_2012.pdf (17. 4. 2019).

TRNKA, P. (2010): Možné důsledky dlouhotrvajícího sucha v naší krajině a ve světě. Ústav aplikované a krajinné ekologie AF MENDELU v Brně, http://user.mendelu.cz/xvlcek1/rrc/sucho/TRNKA_1.pdf (27. 2. 2019).

VAN LOON, A. F., VAN LANEN, H., A., J. (2012): A process-based typology of hydrological drought. *Hydrology and Earth system science*, 16, 1915–1946.

VAN LOON, A. F., LAAHA, G. (2015): Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of hydrology*, 526, 3–14.

VLNAS, R. a kol. (2010): Časová a plošná variabilita hydrologického sucha na území České republiky. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, V.V.I., Praha.

WHITE, K. D. (2013): Nature–Society linkages in the Aral sea region. *Journal of Eurasian studies*, 4, 18–33.

WILHITE, D. A., GLANTZ, M. H. (1985): Understanding the drought phenomenon: The role of definition. *Water international*, 10, 3, 11–120.

9.1 Mapové podklady

ARCDATA PRAHA (2019): ArcČR 500 - digitální geografická databáze, verze 3.3, <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500> (2. 4. 2019).

DIBAVOD. Digitální báze vodohospodářských dat, VÚV TGM, <http://www.dibavod.cz/index.php?id=27> (20. 3. 2019).

OPENSTREETMAP, <http://download.geofabrik.de/> (20. 3. 2019).

9.2 Internetové zdroje

METEOBLUE (2019) [online], <https://www.meteoblue.com> (6. 5. 2019).

U.S. DROUGHT MONITOR (2019) – United states drought monitor [online], <https://droughtmonitor.unl.edu/Maps/MapArchive.aspx> (4. 5. 2019).

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Vybrané profily s počtem dní dosažení nebo překročení Q_{355d} nebo Q_{364d} za hydrologické roky 2015 a 2018.....	42
Tabulka č. 2: Vypočtené hodnoty jednotlivých prahových hodnot pro profil Pilař a Bechyně46	
Tabulka č. 3: Nejnižší roční průměrné průtoky na stanicích Pilař a Bechyně	48
Tabulka č. 4: Nejvyšší počty suchých dní na stanicích Pilař a Bechyně vztažených k prahové hodnotě Q_{355d}	51
Tabulka č. 5: Nejvyšší počty suchých dní vztažených k hodnotě Q_{330d} na stanicích Pilař a Bechyně.....	52
Tabulka č. 6: Počet suchých dní v roce 2018 při využití odlišných hodnot prahového průtoku Q_{355d} pro profil Pilař.....	64
Tabulka č. 7: Počet suchých dní v roce 2018 při využití odlišných hodnot prahového průtoku Q_{355d} pro profil Bechyně	65
Tabulka č. 8: Hodnoty jednotlivých prahových hodnot a počty suchých dní v roce 2018 při jejich využití na profilu Pilař.....	65
Tabulka č. 9: Hodnoty jednotlivých prahových hodnot a počty suchých dní při jejich využití na profilu Bechyně	66

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Povodí Lužnice	11
Obrázek č. 2: Klimatické oblasti podle Köppenovy klasifikace podnebí v Česku	14
Obrázek č. 3: Klimatické oblasti v Jihočeském kraji a na Šumavě.....	15
Obrázek č. 4: Klimadiagram pro stanici České Velenice.....	16
Obrázek č. 5: Klimadiagram pro stanici Měšice	17
Obrázek č. 6: Postup sucha od meteorologické situace až po hydrologické sucho	24
Obrázek č. 7: Plošný deficit srážek pro území krajů Česka za období hydrologických roků 2014 až 2018	32
Obrázek č. 8: Plošný deficit srážek pro území krajů Česka za jednotlivé hydrologické roky 2014, 2015, 2016, 2017 a 2018	33
Obrázek č. 9: Přehled vodoměrných profilů, ve kterých byl změřen v roce 2015 průtok Q_{355d} a nižší	37
Obrázek č. 10: Přehled vodoměrných profilů, ve kterých byl změřen v roce 2018 průtok Q_{355d} a nižší.....	44

Seznam grafů

Graf č. 1: Odtok v průběhu roku na profilu Pilař	19
Graf č. 2: Odtok v průběhu roku na profilu Bechyně.....	19
Graf č. 3: 30denní minimální roční odtokové výšky na Lužnici na profilu Bechyně	38
Graf č. 4: Vývoj územního srážkového deficitu, spočteného z průměrných denních úhrnů srážek v Česku v období od 1. 1. 2018 do 31. 12. 2018.....	41
Graf č. 5: Průměrné roční průtoky pro hydrologické roky z období 1965 až 2018 na profilu Pilař	47
Graf č. 6: Průměrné roční průtoky pro hydrologické roky z období 1911 až 2018 na profilu Bechyně.....	48
Graf č. 7: Počet suchých dní naměřených na profilu Pilař v hydrologických letech 1965 až 2018	49
Graf č. 8: Počet suchých dní naměřených na profilu Bechyně v hydrologických letech 1911 až 2018	50
Graf č. 9: Průběh hydrologického roku na profilu Pilař.....	54
Graf č. 10: Průběh hydrologického roku na profilu Bechyně	55
Graf č. 11: Průběh hydrologického sucha v roce 2018 na profilu Pilař	56
Graf č. 12: Průběh hydrologického sucha v roce 2018 na profilu Bechyně.....	56
Graf č. 13: Čára překročení průměrných denních průtoků v roce 2018 na profilu Pilař	57
Graf č. 14: Čára překročení průměrných denních průtoků v roce 2018 na profilu Bechyně ...	58
Graf č. 15: Nedostatkové objemy naměřené na profilu Pilař v hydrologických letech 1967 až 2018.....	59
Graf č. 16: Nedostatkové objemy naměřené na profilu Bechyně v hydrologických letech 1911 až 2018	60